

**DOTTORATO DI RICERCA IN SISTEMI COMPLESSI PER LE SCIENZE
FISICHE SOCIO-ECONOMICHE E DELLA VITA**

Dipartimento di Fisica e Astronomia
TESI DI DOTTORATO
XXXIV CICLO

**RISCHIO FISICO E
RISCHIO SOCIALE**

NUOVE STRATEGIE URBANE PER LA
PREVENZIONE SISMICA TRA CONOSCENZA
E PERCEZIONE DEL RISCHIO

Candidata: Eliana Fischer
Relatori: Prof. Francesco Martinico
Prof. Alessandro Pluchino

Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro di ricerca che non pensavo trovasse mai la luce, mi preme ringraziare qualcuno in modo speciale. A questo proposito, per quanto ovvio possa sembrare, ringrazio mio figlio Ettore, motore universale degli sforzi fatti per arrivare a questo punto e a cui questo lavoro ha tolto colpevolmente tempo e attenzioni.

Ringrazio i miei tutor, il Prof. Francesco Martinico e il Prof. Alessandro Pluchino che mi hanno indicato la via e per essere stati uno stimolo costante per fare sempre meglio, e la Prof.ssa Annalisa Greco per aver detto, a sua insaputa, parole di conforto nei momenti in cui ce n'era bisogno. Ringrazio quindi tutti i docenti con i quali ho avuto piacere di confrontarmi sul mio lavoro di ricerca per i fondamentali suggerimenti e i preziosi aiuti.

Ringrazio Ario, per l'acuta e appassionata partecipazione rivolta a questo lavoro di ricerca di cui nulla sapeva prima e tutto, forse più di me, ha appreso ed imparato dalle estenuanti giornate di studio e confronto, a volte avvilente a volte appassionante ed entusiasmante. E lo ringrazio particolarmente nei momenti in cui io perdevo fiducia e lui la restituiva con una candida iniezione di stima, necessaria quando si perdono di mira gli obiettivi e si vedono solo gli ostacoli.

Ringrazio Aurelio per il profondo e incondizionato sostegno e l'ingiustificata fiducia nelle mie risorse.

Ringrazio i miei genitori che come sempre, fortunatamente, ci sono stati e ci sono con trasporto e partecipazione.

Rischio fisico e Rischio sociale. Nuove strategie urbane per la prevenzione sismica tra conoscenza e percezione del rischio

INTRODUZIONE.....	
Contesto.....	i
Domande e obiettivi di ricerca.....	iv
Organizzazione della ricerca.....	vi
Riferimenti bibliografici.....	viii

PARTE PRIMA | STATO DELL'ARTE

CAPITOLO 1 • Introduzione al Rischio Origine e terminologia di base.....	- 1 -
1.1 Teorie del Rischio.....	- 1 -
1.2 Definizione di Rischio.....	- 3 -
1.2.1 Pericolosità.....	- 7 -
1.2.2 Vulnerabilità.....	- 8 -
1.2.3 Esposizione.....	- 11 -
1.3 Disastri.....	- 12 -
1.4 I principali <i>drivers</i> del rischio urbano.....	- 15 -
1.5 <i>Drivers</i> di rischio urbano in Italia.....	- 21 -
Riferimenti bibliografici.....	- 27 -
CAPITOLO 2 • L'estensione del concetto di rischio: dal mondo fisico all'universo sociale.....	- 33 -
2.1 Introduzione: Conoscenza e consenso, la matrice di Douglas e Wildavsky.....	- 33 -
2.2 La percezione del rischio: approccio psicometrico e culturale.....	- 35 -
2.3 Il ruolo della percezione del rischio sulla sua mitigazione.....	- 40 -
2.4 Gli studi sulla percezione del rischio sismico in Italia.....	- 42 -
2.5 Indicazioni emergenti. Verso una sintesi dei due approcci.....	- 45 -
Riferimenti bibliografici.....	- 49 -
CAPITOLO 3 • L'analisi della vulnerabilità.....	- 55 -
3.1 Introduzione.....	- 55 -
3.2 La vulnerabilità fisico-spaziale. Metodologia di valutazione della vulnerabilità sismica urbana.....	- 56 -
3.2.1 La Struttura Urbana Minima.....	- 59 -
3.2.2 La metodologia RADIUS.....	- 67 -
3.2.3 Il modello ENSURE.....	- 70 -
3.3 La vulnerabilità sociale. Contributi teorici.....	- 72 -
3.3.1 Metodologia di valutazione della vulnerabilità sociale.....	- 77 -
3.4 Indicazioni emergenti.....	- 83 -

Riferimenti bibliografici.....	- 85 -
CAPITOLO 4 • La dimensione della prevenzione nella pianificazione urbana....	- 93 -
4.1 Introduzione	- 93 -
4.2 Il Risk Based Planning Approach del Bay of Plenty Regional Council, Nuova Zelanda.....	- 93 -
4.3 Il Piano di ricostruzione dello Stato del Queensland (Australia).....	- 97 -
4.4 Il Piano Regolatore della Sismicità del Comune di Faenza.....	- 100 -
4.5 La Struttura Urbana Minima di Città di Castello.....	- 108 -
4.6 Lo Schema di Massima del Nuovo PRG di Messina.....	- 116 -
4.7 Indicazioni emergenti	- 122 -
Riferimenti bibliografici.....	- 124 -

PARTE SECONDA | LA PROCEDURA METODOLOGICA

CAPITOLO 5 • L'articolazione metodologica L'indagine alla scala metropolitana	- 129 -
5.1 Introduzione	- 129 -
5.2 L'approccio analitico alla scala metropolitana	- 130 -
5.3 La vulnerabilità fisico-funzionale del patrimonio edilizio	- 131 -
5.3.1. Modellazione ad agenti per riprodurre la complessità del fenomeno sismico. - 131 -	
5.3.2. Struttura di un Agent-based Model.....	- 133 -
5.3.3. Descrizione del modello Olami-Feder-Christensen	- 135 -
5.3.4. Procedura di implementazione del modello OFC per la simulazione di eventi sismici.....	- 137 -
5.3.5. Mappe di rischio sismico simulato	- 146 -
5.4. L'analisi della vulnerabilità sociale	- 147 -
5.4.1. La definizione del fenomeno.....	- 149 -
5.4.2. <i>Spatial Smoothing</i> e standardizzazione	- 151 -
5.4.3. PCA e mappatura della vulnerabilità socio-demografica.....	- 152 -
5.5. Mappatura della pericolosità sismica	- 153 -
5.6. Il Rischio Sismico della componente socio-demografica e della componente fisica.....	- 154 -
Riferimenti bibliografici.....	- 156 -
CAPITOLO 6 • L'articolazione metodologica L'indagine alla scala locale.....	- 159 -
6.1 Introduzione	- 159 -
6.2 Conceptual Framework	- 160 -
6.3 Research Methodology	- 161 -
6.4 Rischio Oggettivo	- 162 -
6.5 Rischio Percepito.....	- 165 -
6.6 Seismic Policy Prevention Index.....	- 168 -
Riferimenti bibliografici.....	- 169 -

PARTE TERZA | L'APPLICAZIONE METODOLOGICA

CAPITOLO 7 • Caso di studio L'Area Metropolitana di Catania.....	- 175 -
7.1 Introduzione	- 175 -
7.2 Caso di studio: l'Area Metropolitana di Catania	- 177 -
7.3 Applicazione del modello OFC.....	- 179 -
7.4 Risultati delle simulazioni.....	- 187 -
7.4.1. Multiple Earthquakes Scenarios (MES)	- 187 -
7.4.2. Single Earthquakes Scenarios (SES).....	- 194 -
7.5 Calcolo di un indice di rischio 'a-priori' (Modello Crichton).....	- 200 -
7.6 Considerazioni	- 203 -
7.7 L'indagine della vulnerabilità sociale dell'AMC.....	- 205 -
7.7.1. Risultati dell'analisi della vulnerabilità socio-demografica	- 206 -
7.8 Considerazioni	- 217 -
CAPITOLO 8 • Caso di studio Indagine di un quartiere di Catania.....	- 221 -
8.1 Introduzione	- 221 -
8.2 Rischio oggettivo: analisi e mappatura.....	- 229 -
8.3 Rischio percepito	- 233 -
8.4 Risultati.....	- 241 -
8.5 Considerazioni	- 249 -
Riferimenti bibliografici	- 251 -
Conclusioni e sviluppi futuri	- 253 -
APPENDICE.....	- 259 -
Indice delle Figure	- 270 -

INTRODUZIONE

Contesto

Domande e obiettivi della ricerca

Organizzazione della ricerca

Contesto

Come realtà geologica e fisiografica l'Italia ha da millenni i caratteri sismici attuali, espressione della sua complessa storia geodinamica e della vita stessa della Terra. La pericolosità sismica di un territorio è per definizione 'stazionaria', ovvero non varia molto attraverso le migliaia o decine di migliaia di anni: è il rischio sismico – che deriva dalla convoluzione di quella pericolosità con la quantità e il valore di ciò che è esposto sul territorio e con la sua vulnerabilità – a cambiare attraverso le epoche (Guidoboni, 2016). Molte città del Sud-Italia sono state distrutte e sorprendentemente ricostruite più volte nella loro storia: tuttavia non ci sono catastrofi che si dimentichino più velocemente dei terremoti (Nimis, 2009), attivando 'meccanismi di rimozione del rischio', che si sono palesati nell'inerzia a promuovere indirizzi politici specifici per il contenimento dei danni provocati dai sismi. La tendenza alla rimozione del rischio ha prodotto nel tempo un vuoto normativo, che ha portato a sottostimare l'adozione di necessarie politiche di prevenzione, come parte del *corpus* normativo e previsionale degli strumenti di piano. Il rischio sismico viene relegato alla sfera dei fenomeni naturali per cui non è possibile intervenire preventivamente. D'altronde la conoscenza del fenomeno sismico non innesca comportamenti virtuosi sia nella compagine politica che nella compagine sociale, in quanto il problema sismico è visto in Italia come episodico, e per questa ragione comporta un interesse limitato all'occasione dell'evento stesso. Ad ogni evento, nuove leggi e norme risolvono un problema specifico, senza osservare il fenomeno da una prospettiva più completa e multidisciplinare. Di fatto, l'aumentare delle catastrofi naturali e antropiche comporta perdite enormi in termini di vite umane e di beni materiali con costi diretti e indiretti che scatenano una spirale scomposta di ordini di priorità sull'allocazione delle risorse necessarie per la ricostruzione dei sistemi urbani. Di conseguenza si rende necessario un approccio operativo alla tutela e allo sviluppo del territorio che sia indirizzato a logiche non emergenziali, un quadro di strumenti che non siano da reinventare ad ogni evento sismico, flessibile ed adattabile alle esigenze territoriali (Nimis, 2009), incentrato su programmi orientati alla trasformazione della città, e contestualmente sostenuto da analisi, tecniche e metodi che

consentano l'ingresso della prevenzione sismica nel processo di trasformazione urbanistica.

Le questioni che interessano la sicurezza sismica sono state declinate come interventi di ricostruzione, dunque come interventi post-sisma, attraverso disposizioni indirizzate alla scala dell'edificio, eludendo logiche urbane d'insieme, ignorando l'interazione dell'edificio con il tessuto urbano nel quale è inserito e, non meno rilevante, con il tessuto sociale.

L'Italia è un Paese fragile sotto molti aspetti, caratterizzato da un sistema insediativo formatosi nel trentennio della massiccia edificazione che ha caratterizzato la seconda metà del Novecento, sul quale gravano, ormai con sempre maggiore frequenza, eventi straordinari. Un patrimonio edilizio fragile, per cui si stima che 10,7 milioni di abitazioni e 5,4 milioni di edifici ricadano nella quota di territorio a più elevato rischio sismico (Ance/Cresme, 2012). La crescita demografica continua a gravare in maniera pressante sulle aree urbane più attrattive, facendo emergere con sempre maggiore chiarezza la quantità e qualità degli oggetti esposti ai rischi ambientali.

Inoltre le trasformazioni socio-demografiche ed economiche, cominciate già alla fine degli anni Settanta, hanno modificato la struttura sociale con conseguenze che si ripercuotono sull'esposizione delle diverse categorie sociali ai rischi naturali. L'incertezza sulla propria condizione economica e sociale abbraccia una più ampia platea di individui, in diverse fasi del ciclo di vita, e per i quali emergono diversi bisogni (non autosufficienza degli anziani, figli piccoli, giovane età etc.). Le trasformazioni in atto evidenziano un processo diffuso di invecchiamento della popolazione italiana, che registra l'aumento di 40 punti percentuali dell'indicatore Istat nell'ultimo decennio (2011-2021). Inoltre, la riduzione della dimensione media dei nuclei familiari, e la debolezza delle unioni familiari, limitano di conseguenza l'affidamento sulle reti parentali in caso di problemi economici, sostegno in caso di calamità, scambio di informazioni, comunicazione in caso di emergenza, diminuendo di fatto il ruolo di primo ammortizzatore sociale da sempre svolto dalla famiglia (Ferrera, 2006, citato in Istat, 2020).

In questa cornice di senso, diventa sempre più evidente l'iniqua distribuzione dei rischi nella società. Alcune categorie sociali risultano più vulnerabili di altre nell'affrontare e superare le conseguenze derivanti da fenomeni esogeni. Alle categorie sociali si abbinano i 'filtri geografici' (Cutter et al., 2003), che conducono ad un'esasperazione delle condizioni di rischio. Emerge, pertanto, la necessità di ampliare l'ambito di interesse delle politiche di prevenzione sismica e di pianificazione urbana e territoriale, attraverso un approccio analitico-conoscitivo che contempli tanto gli aspetti fisici quanto quelli socio-demografici.

La connessione tra i due aspetti, opportunamente declinata, consentirebbe di aggiungere un grado di approfondimento al livello di conoscenza del territorio e dei fenomeni che lo riguardano. Questa conoscenza, in

particolare, influenza le possibilità che lo strumento di Piano orienti modalità di uso del suolo compatibili coi diversi livelli di rischio fisico e rischio sociale. Ad oggi, la 'cultura del rischio' è limitata alla conoscenza di un apparato comunque ineludibile di saperi esperti necessari a descrivere il fenomeno sismico: l'adozione di modelli fisicamente basati per la simulazione dei terremoti, la comprensione della geodinamica terrestre, gli spettri di resistenza degli edifici. Queste conoscenze risultano limitate se non coadiuvate da ulteriori livelli di conoscenza, che contemplino la sfera psicologico-percettiva del rischio. Comprendere e quantificare la percezione individuale e collettiva del rischio consente di innescare una predisposizione ad effettuare cambiamenti rilevanti rispetto ai problemi ambientali (O'Connor, 1999). Alcuni studiosi sostengono che la bassa percezione del rischio inibisca la propensione a sviluppare piani di emergenza, come è stato dimostrato a L'Aquila dopo il terremoto del 2009 (Marincioni et al., 2012). Il rischio percepito, più del rischio oggettivo, motiva l'individuo a impegnarsi in particolari *patterns* comportamentali. Per superare l'indeterminatezza della dimensione percettiva del rischio, l'indifferenza rispetto ad alcuni pericoli, la comprensione di cosa è rischioso e quali siano i fattori che determinano questa percezione, è necessaria un'integrazione tra saperi esperti e laici: spesso la concettualizzazione di rischio fatta dai laici può essere, infatti, molto più ricca di quella fornita dagli esperti e riflette problematiche che sono tipicamente omesse dagli esperti.

La 'cultura del rischio' implica una partecipazione pro-attiva alle strategie di riduzione e mitigazione del rischio, sia nella logica di accogliere prescrizioni di legge, sia nella logica di assumere comportamenti auto-efficaci (Bandura, 1977). Richiamando la dialettica antropologica conoscenza-consenso, il problema della cultura del rischio non risiede nell'ampliare la conoscenza, ma nel creare il consenso intorno ad essa, in virtù del fatto che il rischio e la sua percezione sono fenomeni sociali, connessi alla sfera culturale e non meramente un problema di sapere scientifico (Douglas e Wildawsky, 1982). «Sono la percezione e la definizione culturale che costituiscono il rischio, il quale, insieme con la sua definizione e comunicazione pubblica costituiscono un tutt'uno, da cui solo pensando ad esso in termini di realtà in divenire si può comprendere la sua materializzazione sociale» (Beck, 1986 p. 327).

Già dalla fine del XX secolo l'urbanistica si è dotata di un *corpus* normativo di vastissime dimensioni dove assieme alle norme più strettamente urbanistiche fondate sulla logica «dell'adeguamento alle regole scritte e disegnate [...], attraverso il controllo e limitazione dei vantaggi che derivano ai singoli dalla modifica e trasformazione della città [...]», si introducono norme relative «alla prevenzione dei rischi, alle norme igieniche, alla regolazione del traffico e della circolazione, alla salvaguardia dei beni o luoghi ritenuti di particolare pregio e alle norme fiscali» (Benevolo, 2000). Questo sistema normativo ha portato l'urbanistica a dotarsi di un quadro

ampio di conoscenze finalizzato ad un'analisi precisa dei fenomeni territoriali: delineando un nuovo approccio urbanistico nel quale si affronta la questione del rischio nella pianificazione urbana e territoriale tramite una valutazione secondo molteplici criteri integrati tra loro, ed in cui si parla di interdisciplinarietà dei saperi che permette di conoscere il territorio, individuare su di esso gli elementi di rischio e stabilire indirizzi-guida e regole di prevenzione. L'inclusione della prevenzione sismica nella pianificazione va considerata come una nuova politica urbana, in grado anche di prevedere la ridefinizione della pratica urbanistica, dei metodi e delle procedure tradizionali verso lo sviluppo di soluzioni specifiche al territorio analizzato che incorporino gli obiettivi di sicurezza.

Domande e obiettivi di ricerca

Questa ricerca esplora il rischio sismico con una visione analitica che abbraccia la componente fisica della vulnerabilità del patrimonio edilizio urbano e la componente della vulnerabilità socio-demografica intesi come *drivers* di amplificazione dei disastri, ponendosi come obiettivo la definizione di una metodologia che, a differenti livelli di analisi, miri a orientare politiche di uso del suolo compatibili coi diversi livelli di rischio fisico e rischio sociale. Essendo la città interazione dinamica delle strutture sociali e dei loro reciproci rapporti con le dinamiche delle corrispettive strutture spaziali (Astengo, 1966), lo sforzo della presente ricerca risiede nell'intento di associare gli aspetti fisici o spaziali, che riguardano appunto la disciplina urbanistica con quelli cosiddetti a-spaziali, ovvero di natura economico-sociale, essendo la città fatta dal territorio che essa occupa e dalle relazioni sociali che in essa si svolgono (Fera, 1991).

Alcune domande alle quali la ricerca tenta di rispondere sono:

- È possibile sviluppare un'analisi del rischio che tenga conto contemporaneamente degli aspetti spaziali e a-spaziali della vulnerabilità? Quali sono le componenti di vulnerabilità che apportano un contributo decisivo alla conoscenza del rischio sismico? È possibile individuare e mappare il territorio sulla scorta dei due apporti conoscitivi?
- È possibile rendere il rischio sismico un fenomeno di carattere sociale, attraverso l'adozione di strategie che contemplino gli aspetti 'oggettivi' e gli aspetti 'percettivi' del rischio? Quali indirizzi possono essere posti in essere attraverso una convergenza delle due strategie? Quali sono i risvolti utili per la pianificazione e quali le alternative di *policy* che gli attori locali possono vagliare per introdurre i meccanismi percettivi tra gli strumenti informativi del Piano?

Il progetto di tesi si sviluppa in due parti che rappresentano anche l'approccio sistemico all'obiettivo prefissato della ricerca. Da una parte, la scala metropolitana attiene alla prima definizione del titolo di tesi: ovvero la conoscenza (del rischio fisico e del rischio socialmente basato). Gli aspetti

Domande e obiettivi di ricerca

sociali, ritenuti fondamentali già a livello internazionale dall'UNISDR (2002) come fattori amplificativi del rischio, hanno da sempre avuto ruolo 'periferico' nella sua valutazione. L'approccio dell'analisi valutativa del rischio alla scala territoriale ha il duplice obiettivo di superare i limiti amministrativi, avvicinandosi alla pianificazione strategica equiparabile ai piani di area vasta (L. 56/2014) ed assume nella sua fisionomia carattere di indirizzo politico. Dall'altra parte la declinazione analitico-progettuale alla scala di quartiere attiene alla seconda definizione del titolo di tesi: la percezione del rischio, sulla base della quale viene sviluppato uno strumento in grado di tarare le *policy* urbane in ragione del livello percepito di rischio. Dunque, la prima fase metodologica è caratterizzata da un'analisi alla scala territoriale e riporta come caso di studio l'Area Metropolitana di Catania, in Sicilia orientale. La seconda fase metodologica è caratterizzata da un'analisi alla scala di quartiere e approfondisce come caso di studio una zona all'interno del confine comunale di Catania, densamente abitato e costruito a partire dalla seconda metà del Novecento.

Gli obiettivi in relazione alle domande di ricerca sono di seguito riportati.

Obiettivo 1: Al fine di documentare la conoscenza del fenomeno sismico viene esaminata la vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio urbano incrociata con la vulnerabilità socio-demografica per definire un protocollo dal quale attingere gli strumenti per individuare i criteri generali di indirizzo strategico e le misure da adottare per la riduzione del rischio sismico urbano, mappando le aree e sviluppando *policy* in relazione ai livelli di rischio individuati.

Vengono indagati i fattori di vulnerabilità che influenzano ed amplificano le conseguenze del rischio sismico, mirando a verificare quali siano 'in nuce' le condizioni che portano il sistema a subire danni. I fattori analizzati sono la vulnerabilità del patrimonio edilizio urbano e la vulnerabilità socio-demografica.

In particolare gli obiettivi corrispondenti a questa fase metodologica sono:

- Analisi della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio: individua gli effetti del danneggiamento sul patrimonio edilizio urbano per effetto di simulazioni sismiche ripetute;
- Analisi della vulnerabilità socio-demografica: viene introdotta l'analisi delle caratteristiche di vulnerabilità socio-demografica tra i *drivers* del rischio sismico a scala metropolitana;
- Definizione di mappe di rischio e graficizzazioni che permettono una lettura immediata del territorio in chiave sismica;
- Configurazione di un metaprogetto di prevenzione, che selezioni, in relazione ai livelli di rischio individuati, le strategie di mitigazione e adattamento al rischio sismico, un metodo per guidare i pianificatori attraverso un'analisi comprensiva del rischio, includendo cioè le

differenti forme di vulnerabilità e connettendo queste ultime ad una varietà di opzioni pianificatorie.

Obiettivo 2: La seconda fase metodologica mira a verificare gli effetti della percezione del rischio sismico sui comportamenti di propensione al cambiamento da parte degli *stakeholders*, ovvero sull'accettazione delle politiche di mitigazione e riduzione del rischio sismico alla scala locale. In particolare modo viene sviluppato uno strumento che attraverso la calibrazione del rapporto tra rischio 'percepito' da parte degli abitanti del quartiere e rischio 'oggettivo', consenta la definizione e applicabilità delle opportune politiche di mitigazione e riduzione del rischio sismico.

Vengono indagate le componenti del rischio 'oggettivo', inteso come il rischio basato su modelli probabilistici, e rischio 'percepito' dagli *stakeholders* sulla base dei questionari somministrati agli abitanti del quartiere oggetto di studio.

In particolare, gli obiettivi corrispondenti alla seconda fase metodologica sono:

- Analisi del rischio sismico 'oggettivo';
- Mappatura del rischio 'oggettivo';
- Analisi della percezione del rischio sismico a scala urbana, attraverso la somministrazione di questionari;
- Definizione di indicatori di percezione-conoscenza del rischio e propensione al cambiamento;
- Mappatura del rischio 'percepito';
- Differenza tra rischio 'oggettivo' e rischio 'percepito';
- Taratura delle politiche urbane di mitigazione e riduzione del rischio in relazione alla differenza tra i due rischi.

In questo modo sarà possibile individuare dei criteri di allocazione delle risorse pubbliche eventualmente disponibili e sviluppare le opportune *policy* in relazione al settore urbano in cui rischio 'oggettivo' è maggiore del rischio 'percepito'. In particolare questa fase metodologica consentirà l'elaborazione di un ventaglio di opzioni (*policy*), sulla base dei risultati ottenuti dalla fase analitica, e la valutazione della fattibilità e potenzialità in termini urbanistici e di sicurezza di un indice opportunamente tarato.

Organizzazione della ricerca

La ricerca consiste di tre parti: la prima sviluppa il quadro teorico di riferimento, con attenzione rivolta alla definizione del concetto di rischio, delineando in particolare i diversi approcci disciplinari e i principali *drivers* del rischio urbano (Capitolo 1). Nel Capitolo 2 viene esteso il concetto di rischio alla dimensione percettiva, introducendo un nuovo modello di interpretazione del rischio che abbraccia la dimensione soggettiva e la rilevanza del contributo dell'analisi del rischio percepito nei processi di mitigazione e

adattamento. Il Capitolo 3 introduce i concetti di vulnerabilità fisico-spaziale e vulnerabilità sociale nell'analisi del rischio e le metodologie adottate per la loro valutazione. Nel Capitolo 4 sono riportate alcune *best practices* a livello nazionale e internazionale di integrazione dei temi di prevenzione del rischio e pianificazione urbana.

La cornice concettuale ha consentito la costruzione della metodologia tracciata nella seconda parte di questa ricerca, al Capitolo 5 dove è dettagliatamente esposto il modello adottato per l'analisi del danneggiamento del patrimonio edilizio urbano, con l'adozione di un meccanismo di simulazioni ad agenti, che ha consentito l'elaborazione di mappe *risk-based* rappresentative del rischio 'fisico'. Il rischio 'sociale' è di seguito sviluppato e mappato attraverso l'adozione di un modello che individua indicatori di vulnerabilità socio-demografica. Nel Capitolo 6 è riportata la seconda parte della metodologia, in cui viene delineato il confronto tra rischio 'fisico' e rischio 'percepito', esaminando il contributo di quest'ultimo nelle politiche di mitigazione del rischio sismico.

La metodologia, come anticipato, è applicata a due casi di studio:

1. Area Metropolitana di Catania (Capitolo 7)
2. Quartiere Vittorio Veneto, nella città di Catania (Capitolo 8)

Nelle conclusioni si riflette, infine, sul lavoro condotto e sulle potenzialità di sviluppo future, ragionando intorno alle risposte fornite alle domande di ricerca.

Riferimenti bibliografici

ANCE/CRESME (2012), Primo Rapporto. Lo stato del territorio italiano 2012. Insediamento e rischio sismico e idrogeologico, ANCE/CRESME, Roma.

Astengo G.(1966), *Urbanistica*, Enciclopedia Universale dell'Arte, vol. XIV, Istituto per la collaborazione culturale, Venezia-Roma, pp. 541-642.

Bandura A. (1977), Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change, In *Psychological Review* 84 (2), pp.191–215.

Beck U. (1986), *La società del rischio, Verso una seconda modernità* (a cura di) W. Privitera, Carocci Editore, 2013.

Cutter S. L., B. J. Boruff, e W. L. Shirley (2003), Social Vulnerability To Environmental Hazards, In *Social Science Quarterly*, n.84(2): 242–261.

Douglas M., A. Wildavsky (1982), *Risk and Culture*, University of California Press, Berkeley, CA.

Fera G. (1991), *La città antisismica. Sorie, strumenti e prospettive della pianificazione territoriale per la riduzione del rischio sismico*, Gangemi Editore, Roma.

Guidoboni E. (2016), Il valore della memoria. Terremoti e ricostruzioni in Italia nel lungo periodo, In *Quellen und Forschungen aus italienischen Archiven und Bibliotheken* (96) DOI 10.1515/qfiab-2016-0020.

Istat (2020), *Le misure della vulnerabilità: un'applicazione a diversi ambiti geografici*, *Lecture statistiche – Metodi*, ISBN 978-88-458-2031-1.

Nimis G.P. (2009), *Terre mobili, Dal Belice al Friuli, dall'Umbria l'Abruzzo*. Saggine, 145, Donzelli Editore.

O'Connor R., R. J. Bord, A. Fisher (1999), Risk Perceptions, General Environmental Beliefs, and Willingness to Address Climate Change, In *Risk Analysis*, Vol. 19, No. 3, pp.461-471.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction)(2002), *Disaster Risk and Sustainable Development: understanding the links between development environment and natural hazard leading to disasters*, Background document for the World Summit on Sustainable Development (WSSD) No 5, <http://www.unisdr.org>.

PARTE PRIMA

STATO DELL'ARTE

CAPITOLO 1 • Introduzione al Rischio | Origine e terminologia di base

[...] con la crescita dei pericoli si devono affrontare *sfide completamente nuove per la democrazia*. La società del rischio ha insita una tendenza ad un 'legittimo' totalitarismo di difesa dai pericoli, che, partendo dal diritto di evitare il peggio conduce com'è fin troppo noto, al 'peggio ancora'. Gli 'effetti politici collaterali' degli effetti collaterali minacciano l'esistenza di un sistema politico democratico che si trova davanti al dilemma o di fallire di fronte ai pericoli prodotti strutturalmente, oppure servendosi di 'sostegni' autoritari e repressivi, di sospendere principi democratici fondamentali.

Beck U., *La società del rischio* 1986, p. 105

1.1 Teorie del Rischio

Nel linguaggio contemporaneo è sempre più frequente l'adozione del termine rischio a delineare un ambito molto esteso di indagine in cui si sottolineano situazioni di incertezza relative al futuro. L'incertezza è propria dell'imprevedibilità dei fenomeni che in maniera sempre più frequente colpiscono la quotidianità dell'esistenza umana.

L'idea di rischio¹ si afferma tra XVII e XVIII secolo ed è strettamente correlata alle trasformazioni sociali e culturali proprie della modernità (Luhmann, 1996). Non esisteva nel medioevo, né nelle culture tradizionali, quando non c'era la necessità di definire un concetto di rischio. D'altronde questo si afferma in contesti di economia più evoluta, come il capitalismo moderno, che si proietta nel futuro calcolando i rischi in termini di profitti e perdite che ne verranno (Gerundo e Fasolino, 2010).

Secondo una definizione teorica di rischio, esso non è che una variabile astratta attraverso cui si esprime il grado di aspettativa che un osservatore pone nella possibilità che un certo evento, considerato avverso, possa accadere in un determinato periodo di tempo (*Ibid*).

Numerosi autori (Silvio Functowitz e Jerome Ravetz, Ortwin Renn, Andreas Klinke, Bernd Rohrmann, Terje Aven, Ragnar Löfsted) si sono dedicati, nell'ambito dei *risk studies*, alla classificazione delle diverse teorie del rischio sulla base dei loro fondamenti epistemologici. Questi studi sono rilevanti ai fini dell'individuazione del ruolo e delle funzioni del *risk management* sulla produzione normativa e sulla comunicazione dei rischi (Cerase, 2016). Renn (1992) individua tre approcci principali:

- *Approccio scientifico*: il rischio è misurabile in modo sistematico. Si ricerca una misura precisa del fenomeno utilizzando strumenti

¹ L'etimologia della parola rischio è incerta. Dal greco, το ριζικο sorte, destino, o η ριζα scoglio. Eventualità di subire un danno connessa a circostanze più o meno prevedibili (Vocabolario Treccani, 1997). Tra XVI e XVII secolo la parola rischio è coniata per la prima volta dagli esploratori spagnoli che si avventuravano per il mondo: la parola *rischio* sembra infatti derivare dallo spagnolo o dal portoghese, lingue nell'ambito delle quali era impiegata per indicare la navigazione in acque ignote, non segnate sulle carte. Originariamente, tale nozione aveva senso in riferimento allo spazio. Solo più tardi fu trasferita al tempo, usata in ambito bancario e di investimento, affermandosi in riferimento ad una vasta gamma di altre situazioni di incertezza (Giddens, 1999).

statistici e probabilistici. Questo approccio si ricollega all'idea di conoscibilità e misurabilità della natura. La possibilità di osservare, comprendere e misurare il rischio lo rende più prevedibile (Cerasa, 2016).

- *Approccio psicologico*: è caratterizzato dal tentativo di produrre modelli generali di spiegazione del comportamento, degli atteggiamenti, delle emozioni e delle credenze degli individui posti di fronte ai rischi, focalizzando la propria attenzione sui processi percettivi e sul modo in cui essi influenzano i processi decisionali, attribuendo una valenza prioritaria ai processi cognitivi e alle disposizioni psichiche delle persone. L'affermazione di questi approcci e teorie prende il nome di *Percezione del Rischio* (Slovic, et al. 1982, Pidgeon, 1998).
- *Approccio culturale*: la Teoria Culturale del Rischio (*Cultural Theory*) introdotta da Mary Douglas, supera il rigido determinismo degli approcci statistico-ingegneristici, e considera la rilevanza delle culture nella mediazione del rischio. L'antropologa non nega la realtà ontologica dei pericoli ma considera il modo in cui essi vengono trasformati in rischi all'interno delle diverse culture, alla luce della diversità e specificità delle norme e delle regole valoriali che ogni cultura esprime. Si caratterizza per la marcata attenzione agli aspetti sociali, culturali e storici in cui le diverse concezioni di rischio si sviluppano e si affermano.

Tabella 1.1 | Principali approcci della Teoria del Rischio

Approccio scientifico	Il rischio è misurabile attraverso strumenti probabilistici e statistici
Approccio psico-metrico	Il rischio va considerato come un concetto soggettivo piuttosto che come entità oggettiva; definire il rischio rende necessario tener conto sia degli aspetti fisici, tecnici ed economici legati alle fonti di pericolo che dei meccanismi psicologici e sociali che le trasformano e le rendono riconoscibili in quanto rischi;
Approccio culturale	Si assume che il modo in cui gli individui valutano un dato pericolo o una minaccia e i motivi in base ai quali li riconoscono come tali sia profondamente influenzato dal contesto socioculturale di riferimento. La cultura definisce cosa vada temuto e quanto debba essere temuto, e come agire di conseguenza.

La stesura del presente lavoro si svolge sulla base dell'approccio scientifico (considerando il rischio come il prodotto della probabilità, oggettivamente determinata, di accadimento dell'evento nel tempo e delle conseguenze negative che ne derivano, dei danni alle persone, a manufatti, a beni immobili e mobili, ad attività produttive, ai servizi, etc.) e si accosta all'approccio psicologico per produrre delle spiegazioni agli atteggiamenti degli individui posti di fronte ai rischi, e ai processi percettivi che influenzano le decisioni. L'aspetto percettivo del rischio, come molti studiosi hanno rilevato, ha una funzione importante in quanto gli individui rispondono ai rischi in funzione

della loro percezione e non in accordo ad un livello di rischio obiettivo o di valutazione scientifica del rischio (Renn, 1992).

1.2 Definizione di Rischio

Despite a need that stretches back through all of human history, in its modern form disaster risk reduction is a child of the 2000s (Alexander, 2008). It intertwines with the resilience and climate change adaptation agendas. It also responds to the imperative of sustainability. The world is consuming at least 50 per cent more resources than it can produce or find, and, moreover, it will have to adapt to warmer conditions and rising sea levels, as well as potentially more extreme natural phenomena that cause disasters (UNISDR, 2009). These are some of the motives for advocating a sustainable response (Alexander, 2012).

Rousseau, in una lettera inviata il 18 agosto del 1756, entra in polemica con Voltaire, autore – all'indomani del sisma di Lisbona – del Poema sul disastro di Lisbona. Il primo sembra negare la derivazione unicamente naturale delle catastrofi: non questa «aveva riunito in quel luogo – scrive Rousseau a Voltaire – ventimila case di sei o sette piani». Se «gli abitanti di quella grande città fossero stati distribuiti più equamente sul territorio e alloggiati in edifici di minor imponenza, il disastro sarebbe stato meno violento o, forse, non ci sarebbe stato affatto». L'approccio di Rousseau è molto innovativo rispetto ai tempi, in quanto non scade nella facile interpretazione della natura come entità maligna e incontrollabile, bensì fa un importante passo in avanti, affermando che la catastrofe è conseguenza del manifestarsi dell'evento calamitoso (il terremoto) e della concentrazione di migliaia di persone alloggiate in uno stesso posto (Pitzalis, 2017). Questo apre la strada all'analisi delle condizioni precedenti al disastro in una visione integrativa delle variabili fisiche con le variabili di esposizione e vulnerabilità.

Al fine di rendere 'operativo' il concetto di rischio, valorizzando al massimo le potenzialità insite nella varietà degli approcci e degli strumenti analitici settoriali, è bene sviluppare una precisa definizione del tema, che definisca l'indirizzo di ricerca.

Tabella 1.2 | Principali definizioni di Rischio

White, 1945	Floods (risks) are "acts of God," but flood losses are largely acts of man.
Adams, 1995	A compound measure combining the probability and magnitude of an adverse affect.
Oliver-Smith, 1996	Disaster is a process/event involving the combination of a potentially destructive agent(s) from the natural and/or technological environment and a population in a socially and technologically produced condition of vulnerability.
Stenchion, 1997	Risk might be defined simply as the probability of the occurrence of an undesired event [but] be better described as the probability of a hazard contributing to a potential disaster [...] it involves consideration of vulnerability to the hazard.

Hewitt, 1983	A revised vision of how and why disaster occurs, giving the full credit to the ongoing societal and man-environment relations that prefigure it.
UN DHA, 1992	Risk is expected losses (of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted) due to a particular hazard for a given area and reference period. Based on mathematical calculations, risk is the product of hazard and vulnerability.
Blaikie et al., 1994 Wisner et al., 2003	Disaster as the intersection of two major forces: those processes generating vulnerability and the natural hazard event. Hence, disaster risk can be viewed as a process involving increasing pressure on the one hand and the opportunities for relieving the pressure on the other (Blaikie et al., 1994; Wisner et al., 2003, p. 49–86)
Birkmann, 2006 Birkmann et al., 2013	The term 'risk' can be described as the product of an interaction between hazard and vulnerability including the probability and magnitude of such consequences (if measurable).
UNESCO, 1996	$Risk_{(total)} = Impact\ of\ hazard * Elements\ at\ risk * Vulnerability\ of\ elements\ at\ risk$
Crichton, 1999 Dwyer et al., 2004	Risk is the probability of a loss, and this depends on three elements, hazard, vulnerability and exposure. If any of these three elements in risk increases or decreases, then risk increases or decreases respectively.
Granger et al., 1999	Risk means the expected number of lives lost, persons injured, damage to property and disruption of economic activity due to a particular natural phenomenon, and consequently the product of specific risk and elements at risk. $Risk_{(total)} = Hazard * Elements\ at\ Risk * Vulnerability$
Dilley et al., 2005	Disaster losses are caused by interactions between hazard events and the characteristics of exposed elements that make them susceptible to damage. [...] To be damaged, however, elements exposed to a given type of hazard must also be vulnerable to that hazard; that is, the elements must have intrinsic characteristics that allow them to be damaged or destroyed (UNDRO 1979). Valuable but vulnerable elements include people, infrastructure, and economically or environmentally important land uses.

Per un lungo periodo i problemi connessi alla valutazione, gestione, e comunicazione del rischio hanno rappresentato un dominio esclusivo di tecnici, scienziati, esperti e decisori politici (Cerese, 2016). All'interno dei *risk studies* la caratterizzazione del rischio era dominio delle 'hard science' (ingegneria, fisica, epidemiologia) e le analisi del rischio, insieme con le scelte politiche che ne derivavano, si basavano sull'idea che il rischio fosse una realtà ontologica, accessibile attraverso il calcolo delle probabilità e l'analisi costi/benefici. Questo approccio, che ha dominato gli studi sui rischi durante gli anni Cinquanta, trova fondamento epistemologico nel Paradigma Tecnocratico o dell'Attore Razionale (RAP) (Aven e Renn, 2010; Aven et al., 2011). In questa fase il rischio rappresenta la probabilità di accadimento di un evento:

$$R \sim f(H) \quad (1.1)$$

(White, 1945; Adams, 1995; Oliver-Smith, 1996; Stenchion, 1997).

Tra la fine degli anni Settanta e nel corso degli anni Ottanta, l'emergere di nuovi rischi dalle conseguenze sempre meno prevedibili e calcolabili (la contaminazione della cittadina di Love Canal nel 1978, gli incidenti nucleari di Three Mile Island del 1979 e di Chernobyl del 1986) e l'emergente necessità di coinvolgimento di tutte le parti interessate nei processi riguardanti le decisioni politiche sui rischi hanno portato ad un mutamento radicale nella *risk analysis* (Cerese, 2016).

I nuovi conflitti ambientali legati al nucleare, all'inquinamento o agli effetti catastrofici dei disastri naturali hanno contribuito ad un'apertura della ricerca verso settori disciplinari come le scienze umane e sociali dando luogo, già negli anni Settanta, alla fioritura di numerosi centri di ricerca specializzati, in particolar modo negli Stati Uniti e in Europa².

Questi gruppi caratterizzati da una marcata impronta multidisciplinare hanno messo in discussione alcuni degli assunti del *risk management*, e hanno superato l'approccio naturalista, prendendo coscienza che i disastri non sono esclusivamente il risultato di processi geografici, ma esistono fattori strutturali come i processi sociali responsabili delle crescenti condizioni di vulnerabilità (Hewitt, 1983). Dalla fine degli anni Settanta si è compreso come i pericoli naturali, tecnologici, sociali e intenzionali (come il terrorismo) rappresentassero l'innescò di reazioni complesse dovute all'interazione tra pericolo e le condizioni di vulnerabilità sociale, economica, culturale e fisica della società. In questo contesto, il rischio è dunque stato sintetizzato dalla relazione 1.2:

$$R = f(H, V) \quad (1.2)$$

(Hewitt, 1983; UN-DHA, 1992; Blaikie et al., 1994; Wisner et al., 2003; Birkmann, 2006, 2013).

Dunque si è iniziato a comprendere che è fondamentale conoscere e ridurre la vulnerabilità rispetto ai disastri nelle sue differenti forme (Alexander, 2012),

² Nel 1963 viene fondato da Quarantelli e Dynes il *Disaster Research Center* dell'Università del Delaware. Nel 1976 viene fondato da Tierney e Mileti il *Natural Hazard Research and Application Information Center* dell'Università del Colorado. Nel 1976, il *Decision Research Group* dell'Università dell'Oregon, diretto da Slovic, famoso per le ricerche psicometriche. Tra la fine degli anni Settanta e i primi anni Ottanta, il gruppo della Clark University di Worcester nel Massachusetts, con la partecipazione di Roger e Jeannette Kaspersen, Pidgeon, Renn e il gruppo della Carnegie Mellon University di Fischhoff, Morgan, Bostrom e Atman. Nel 1976/77, dopo il terremoto in Friuli nasce a Udine un gruppo di sociologi dei disastri che faceva capo a Cattarinussi, Strassoldo e Boileau.

In Europa il *King's Centre for Risk Management* presso il King's College di Londra; *Centre for the Analysis of Risk and Regulation* alla London School of Economics di Londra; *Institute of Hazard, Risk and Resilience* all'Università di Durham; *ETH Risk Center* di Zurigo; *ZIRIUS, Stuttgart Research Center for Interdisciplinary Risk and Innovation Studies* a Stoccarda.

valutando come interagiscano i fattori di pericolo e di vulnerabilità (Birkmann, 2006).

Nel tempo, la sempre più evidente condizione di complessità, caratteristica delle interazioni che sussistono fra natura e società, ha reso necessario il superamento dei precedenti approcci, a favore di un nuovo paradigma. Attualmente riconosciuto in modo condiviso, tale approccio definisce il rischio come funzione di una molteplicità di fattori: le potenziali sollecitazioni che possono interessare una determinata area (pericolosità), la quantità/valore/tipologia degli elementi investiti (esposizione) e la loro propensione al danno (vulnerabilità) (UNESCO, 1996; Crichton, 1999; Granger et al. 1999; Dwyer et al., 2004; Dilley et al., 2005) (Tabella 1.2). Si può esprimere, dunque, il rischio secondo la funzione:

$$R = f(H, V, E) \quad (1.3)$$

In cui R rappresenta il Rischio (*Risk*), H rappresenta la Pericolosità (*Hazard*), V rappresenta la Vulnerabilità (*Vulnerability*) ed E l'Esposizione (*Exposure*). Crichton nel *Risk Triangle* (1999), al fine di definire l'ammontare del rischio assicurabile, definisce un triangolo i cui lati sono rappresentati dalle tre variabili della funzione (1.3). Se si pensa al rischio come all'area del triangolo, la sua grandezza dipende dalla dimensione dei lati dello stesso, e quindi dalla dimensione di ognuna delle tre componenti del rischio. Il settore assicurativo, contesto entro il quale si formula il *framework* di Crichton, attua una transizione chiave, consistente nel passaggio da un approccio passivo in cui il danno è inevitabile e per il quale viene previsto il pagamento di una quota, ad un approccio pro-attivo: ovvero l'approccio delle agenzie di assicurazione è sempre più orientato alla sponsorizzazione della ricerca per comprendere le cause sottostanti e anticipatrici del danno potenziale al fine di investire sul miglioramento delle misure di riduzione del rischio.

Nell'ambito del presente lavoro di ricerca si considera l'idea secondo cui la vulnerabilità è la chiave per comprendere gli impatti di un agente pericoloso (Birkmann, 2006). Gli eventi naturali provocano danni notevolmente differenti, a seconda del sistema sociale che è colpito (Lombardi, 1993). Se un evento estremo si verifica con la stessa intensità ed è caratterizzato da simili variabili fisiche in due differenti sistemi sociali, i danni che produce in ciascun sistema non risultano mai uguali e talvolta sono anche difficilmente paragonabili (Ligi, 2009), ma derivano soprattutto dalle reazioni sociali che si attivano durante e dopo la crisi, in funzione del tipo di cultura specifico posseduto da quel sistema.

Alla luce di queste considerazioni generali sul rischio, di seguito vengono approfonditi i termini e i concetti che fanno parte della letteratura scientifica internazionale sul rischio, al fine di ottenere una sua migliore e più completa caratterizzazione.

Nel seguito della trattazione queste componenti verranno sviluppate con riferimento al rischio sismico, ma lo stesso formalismo viene comunemente utilizzato con riferimento a fenomeni avversi di qualunque tipo, dalle inondazioni, alle attività vulcanica, ai maremoti, agli effetti dei cambiamenti climatici.

1.2.1 Pericolosità

Ci sono molti modi per caratterizzare la Pericolosità: per esempio pericoli naturali, tecnologici, nucleari, i cosiddetti pericoli *man-made*, ecologici etc. Quello che hanno in comune è la potenzialità di causare severe conseguenze che stanno alla base di ogni emergenza, disastro o catastrofe (Thywissen, 2006).

Una caratteristica della Pericolosità (*hazard* in inglese)³ è che contiene la nozione di probabilità, la possibilità cioè che un dato evento si manifesti. Ogni pericolo diventa evento reale quando può manifestarsi in un evento dannoso reale: ciò implica che se può essere misurato in termini di danno reale non è più un pericolo, ma è diventato un evento, in forma di disastro o di catastrofe. Una definizione generale di Pericolosità è: «*A threatening event, or the probability of occurrence of a potentially damaging phenomenon within a given time period and area*» (UNDHA, 1992). Secondo questa definizione il concetto di evento o fenomeno escluderebbe molti processi pericolosi, come per esempio i cambiamenti climatici definiti come processi lenti che generalmente non sono immediatamente riconoscibili fino a quando non è superata una certa soglia, che porta ad uno stato di crisi.

L'United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR, 2004) organismo internazionale per la prevenzione dei rischi, definisce il pericolo: «*A potentially damaging physical event, phenomenon or human activity that may cause the loss of life or injury, property damage, social and economic disruption or environmental degradation*». In questa definizione subentra l'inclusione delle 'attività umane' come potenziale fenomeno che può causare la perdita di vite. Questa definizione delinea una interpretazione del pericolo non unicamente di carattere episodico o naturale, facilmente riconoscibile nello spazio e nel tempo. La rimozione stessa del concetto di spazio e di tempo impedisce una chiara e diretta parametrizzazione del pericolo. In maniera ancora più esplicita, UNISDR (2017) definisce pericolo: «*A process, phenomenon or human activity that may cause loss of life, injury or other health impacts, property damage, social and economic disruption or*

³ Questo termine evidenzia in modo esplicito l'aspetto probabilistico del problema, come nelle principali lingue europee (in inglese è *seismic hazard*, in francese *alea sismique*). Il termine 'azzardo' deriva dalla parola araba *a-zahar*, che indica il gioco dei dadi, come alea è il calco esatto del latino *ālē'a*, ossia il dado. 'Pericolosità' deriva invece da *perīculum* (*peritus*), termine alquanto generico per prova, pericolo, tentativo ecc. Per la maggiore pregnanza e vicinanza al concetto di probabilità, la parola pericolosità, introdotta dai sismologi del Novecento, potrebbe essere sostituita con il termine azzardo, per comunicare meglio il concetto

environmental degradation». In questa definizione i pericoli sono dinamici nel tempo e nello spazio.

Il lavoro di ricerca si concentra sulla pericolosità sismica, intesa come «*la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco (Pga) di nostro interesse*» (Di Sopra, Palandra, 1984).

La pericolosità sismica indica quindi lo scuotimento del suolo atteso in un luogo al seguito del verificarsi di un terremoto, ovvero è rappresentativa della sismicità di un determinato sito. A tal proposito, in letteratura, si distingue tra:

- pericolosità sismica diretta che riguarda in senso stretto l'evento sismico e le sue caratteristiche (magnitudo, intensità e tipo di scossa, accelerazione delle onde sismiche, tipo di sorgente etc.);
- pericolosità sismica indotta che indica la serie di eventi che possono innescarsi per effetto della scossa sismica quale ad esempio, maremoti, frane e smottamenti, fenomeni di liquefazione dei terreni etc. (UNDRO, 1979).

Essendo la Pericolosità una funzione della probabilità di accadimento di un evento, essa è legata alla ciclicità temporale con cui si presenta in rapporto alla sua natura e origine. D'altra parte l'intensità rappresenta la severità con cui si manifesta un evento estremo e si esprime mediante una o più grandezza e fisiche o un'apposita scala relativa.

Diversamente dal rischio, il pericolo è connesso ai fattori ambientali esterni, può dirsi la causa generatrice del rischio, è indipendente dai presunti danni, rimanda all'*external risk* (Giddens, 1999), richiamando gli elementi fissi della natura e della tradizione. Tuttavia, essendo imprevedibile, rimane imprevedibile anche il potenziale danno futuro. Questo porta all'introduzione del concetto di vulnerabilità, interpretabile trasversalmente alle molteplici discipline che lo hanno utilizzato, come predisposizione al danno di natura strutturale, fisica, economica, sociale, psicologica di un sistema. La vulnerabilità può intendersi come elemento intermedio tra l'imprevedibilità del pericolo e la prevedibilità del danno, che si configura come variabile dipendente delle condizioni reali ed attuali del sistema colpito. Si parla di vulnerabilità degli edifici, vulnerabilità del sistema urbano, vulnerabilità sociale.

1.2.2 Vulnerabilità

Vulnerability is defined as "the conditions determined by physical, social, economic and environmental factors or processes which increase the susceptibility of an individual, a community, assets or systems to the impacts of hazards". Vulnerability is multi-dimensional in its nature, and next to the four dimensions above, some authors also include cultural and institutional factors. Examples include, but are not limited to; poor design and construction of buildings, inadequate protection of assets, lack of public information and awareness, high levels of poverty and education, limited official recognition of risks and preparedness measures, disregard for wise environmental management or weak institutions, and governance (e.g. including corruption etc.).

David E. Alexander, 2012

Un altro prerequisito per un disastro è la Vulnerabilità: una caratteristica intrinseca di un sistema (una famiglia, una città, un'infrastruttura, una regione, uno stato, qualsiasi elemento esposto a rischio) a subire un danno (Weichselgartner, 2001). Il grado di fragilità di un elemento determina l'entità delle perdite subite: maggiore è la sua condizione di vulnerabilità, maggiori saranno le perdite in seguito all'impatto di un evento calamitoso.

Una definizione molto ampia di vulnerabilità la fornisce l'UNISDR (2002), che considera la vulnerabilità ai disastri come «funzione delle azioni e dei comportamenti umani [...] descrive il livello di suscettività di un sistema socio-economico a subire o meno gli impatti dovuti al verificarsi di catastrofi naturali, tecnologiche e ambientali. Il grado di vulnerabilità è determinato dalla combinazione di numerosi fattori tra cui la consapevolezza del pericolo, le caratteristiche degli insediamenti e delle infrastrutture, le strategie politiche e amministrative e la capacità di organizzazione in tutti i settori della gestione dei disastri. Esiste una vulnerabilità sociale, una vulnerabilità economica e una vulnerabilità politica, esse sono correlate alle disuguaglianze dei modelli economici, alle divisioni etniche o razziali» (UNISDR, 2002). Sia effettuando una riflessione alla scala nazionale che alla scala locale è possibile constatare come la propensione a subire danni di un contesto edificato, dipende da fattori che vanno oltre le caratteristiche fisiche degli insediamenti (Mileti, 1999; Stanganelli, 2003a). Nella *Disaster Risk Reduction*, la vulnerabilità è vista come la chiave per comprendere l'impatto di un evento calamitoso (Birkmann, 2006).

Una delle definizioni più esaustive del concetto di vulnerabilità è quella proposta da Fera (1991) che suddivide la vulnerabilità urbana in quattro componenti:

- Vulnerabilità fisica dei sistemi spaziali, dipendente dalla vulnerabilità dei singoli edifici che compongono il sistema;
- Vulnerabilità dei sistemi a rete, riguardante la propensione al danno delle reti di trasporto, delle reti di approvvigionamento idrico ed energetico;
- Vulnerabilità funzionale connessa alla capacità di un sistema spaziale o a rete di continuare a svolgere la sua funzione, in seguito all'impatto di una sollecitazione esterna;
- Vulnerabilità economico-sociale che misura le capacità di reazione di un sistema, in termini di capacità di reazione della popolazione, con riferimento agli aspetti sociali, finanziari e psicologici: i fattori che vengono presi in esame sono rappresentati dalle condizioni economiche delle famiglie, il livello di coesione sociale, la preparazione all'emergenza (Stanganelli, 2003a).

Nell'ottica di un'analisi completa della vulnerabilità alla scala urbana si pone il problema di individuare non solo i singoli elementi che possono collassare sotto l'impatto del sisma, ma di individuare e quantificare gli effetti che il loro collasso determina sul funzionamento del sistema territoriale. In questo senso le componenti che concorrono alla definizione del concetto di vulnerabilità possono essere distinte in:

- Vulnerabilità diretta, relativa alla propensione di un singolo elemento a subire danno (ad esempio la vulnerabilità di un edificio, di un viadotto, o di un insediamento);
- Vulnerabilità indotta, relativa agli effetti generati nell'organizzazione del territorio a seguito di un danno a uno dei suoi elementi fisici (per esempio la crisi del sistema di trasporto indotta dall'ostruzione di una strada);
- Vulnerabilità differita, relativa agli effetti che si manifestano nelle fasi successive all'evento e alla prima emergenza e tali da modificare il comportamento delle popolazioni insediate (ad esempio il disagio della popolazione conseguente alla riduzione della base occupazionale per il collasso di stabilimenti industriali);
- Vulnerabilità globale, insieme non lineare delle tre classi di vulnerabilità sopra elencate (Cremonini, 1994).

Tali componenti di vulnerabilità producono effetti sul territorio differenti in termini di tempo e spazio. Le perdite dirette si verificano generalmente nel periodo immediatamente successivo all'evento impattante e in aree circoscritte al verificarsi dell'evento; le classi di vulnerabilità indotta/differita/globale sono proprie delle forme di vulnerabilità sistemica, funzionale ed economico-sociale che sono apprezzabili su una scala più ampia e in un arco temporale più lungo.

La valutazione della vulnerabilità può essere effettuata sia successivamente all'evento calamitoso, che prima del verificarsi di questo. Nel primo caso la vulnerabilità è misurabile e quantificabile attraverso una stima a posteriori del danno fisico o più in generale delle perdite subite. Nel secondo caso si fornisce una stima della vulnerabilità sismica come propensione al danneggiamento del sistema edificato. Il termine propensione sottintende la necessità di fare riferimento alle caratteristiche intrinseche del sistema e alle sue relazioni con il contesto, per descrivere la vulnerabilità, riconoscendo la distinzione e l'autonomia di quest'ultima rispetto al danno (Bramerini et al. 1995; Cremonini, 1994; Fabietti, 1999).

Se nel primo caso sarà sufficiente rilevare i danni provocati sul sistema colpito, nel secondo caso è necessaria una valutazione più complessa, per cui sono necessarie specifiche metodologie di analisi. Sinora, le metodologie messe a punto per valutare la vulnerabilità di un sistema urbano o territoriale, privilegiano soprattutto l'accezione fisica della vulnerabilità, da una parte per l'esistenza di strumentazioni consolidate di valutazione sismica degli edifici singoli o in aggregato, dall'altra perché indagare ambiti complessi, come la

vulnerabilità sociale e politico-culturale intrinseche di un sistema sociale, necessita un approccio olistico di competenze e saperi disciplinari che consenta una sintesi accettabile.

Nella pianificazione territoriale e urbanistica il passaggio dall'approccio indirizzato alla gestione dell'emergenza all'approccio della prevenzione, a tutti i livelli - sociale, tecnica, culturale etc., - diventa un criterio informatore delle azioni di trasformazione del territorio. Per questa ragione la valutazione complessa della vulnerabilità da effettuare prima dell'evento sismico, diventa il *focus* principale della pianificazione sostenibile, e il punto di vista del presente studio.

1.2.3 Esposizione

La relazione (1.3) è stata spesso interpretata diversamente nella letteratura scientifica, ed alcuni studiosi hanno semplificato la relazione del rischio, rendendo implicito il concetto di esposizione all'interno della variabile di vulnerabilità (Cardona et al., 2012) riducendo la condizione di vulnerabilità all'esistenza di un oggetto esposto. L'assenza di esposizione implica l'assenza di vulnerabilità.

All'interno di questo studio si mantiene la distinzione tra vulnerabilità ed esposizione, in quanto si ritiene che le due valutazioni, pur avendo per oggetto gli stessi elementi, abbiano due obiettivi molto differenti tra loro il cui conseguimento dà luogo a tecniche e modalità di valutazione diverse, nonché ad azioni per la prevenzione del rischio completamente distinte.

Al fine di avere una terminologia che sia condivisa a livello internazionale si introduce la definizione data dall'UN-DRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) che definisce l'esposizione come «*the situation of people, infrastructure, housing, production capacities and other tangible human assets located in hazard-prone areas*» (UN-DRR, 2021). Con il termine esposizione si intende dunque la quantità e la qualità dei diversi elementi antropici (popolazione, edifici, attività economiche, servizi pubblici etc.) che compongono una determinata realtà territoriale, il cui funzionamento può essere danneggiato o distrutto da fattori di pericolosità. La valutazione dell'Esposizione risulta complessa da stimare: esistono metodologie che permettono la valutazione del numero di vittime causate da un evento dannoso, che vengono correlate al numero degli edifici crollati e/o danneggiati. Tuttavia si tratta di una valutazione *ex-post*: per una stima antecedente all'evento calamitoso è necessario considerare il numero degli utenti in relazione alla funzione svolta all'interno dell'edificio e alle diverse ore del giorno e al periodo dell'anno. In generale popolazione e manufatti si distribuiscono in maniera non uniforme sul territorio. Questo perché l'Esposizione è strettamente legata alla dimensione funzionale del territorio: la valutazione della funzioni di un sistema presuppone la definizione del ruolo che ciascun elemento svolge all'interno del sistema e quindi del suo valore in termini di sostituibilità / ridondanza (Stanganelli, 2003b).

Per comprendere il ruolo funzionale degli elementi esposti di un territorio è necessario che venga considerato, analizzato e studiato il territorio stesso, la sua struttura e l'evoluzione nel tempo delle relazioni che sussistono tra i suoi elementi costituenti.

1.3 Disastri

Secondo l'ultimo report del CRED (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2020*) insieme con l'UN-DRR, il ventennio 2000-2019 ha registrato un notevole incremento nel numero complessivo dei disastri⁴. L'EM-DAT⁵ (*Emergency Events Database*) ha registrato 7.348 eventi disastrosi, in media 367 eventi disastrosi per anno, coinvolgendo 1,23 milioni di vite, con una media di 60.000 per anno, e colpito un totale di 4 miliardi di persone, con costi stimati di 2,97 trilioni di dollari.

Nel ventennio precedente, 1980-1999, i disastri connessi a pericoli di origine naturale in tutto il mondo sono stati 4.212, e hanno coinvolto circa 1,19 milioni di vite, e colpito circa 3 miliardi di persone. I costi economici di questi disastri si stimano intorno a 1,63 trilioni di dollari.

Tabella 1.3 | Impatto dei disastri: 1980-1999 vs 2000-2019. Fonte: adattato da EM-DAT

Intervallo	N. disastri naturali	Morti totale (Milioni)	Persone colpite (Miliardi)	Costi economici (Dollari americani-trilioni)
1980 - 1999	4.212	1,19	3,25	1,63
2000 - 2019	7.348	1,23	4,03	2,97

Secondo la classificazione dell'EM-DAT, i disastri si suddividono in due categorie:

- Disastri naturali:
 - Geofisici: terremoti, attività vulcanica, movimenti di massa (frane, valanghe);
 - Idrogeologici: inondazioni, frane;
 - Metereologici: temperature estreme, nebbie, tempeste (inclusi cicloni, uragani, tornadi);
 - Climatologici: siccità, collasso di laghi glaciali, incendi;

⁴ Nel report, il termine disastro si riferisce esclusivamente ai disastri di origine naturale, e sono esclusi i disastri biologici e tecnologici.

⁵ Si tratta di un data-base internazionale creato dal CRED, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Il centro creato con il sostegno iniziale dell'Organizzazione Mondiale di Sanità (OMS) e del governo belga, dal 1988 si occupa della ricerca sull'epidemiologia dei disastri e ha creato un database delle catastrofi in tutto il mondo con l'obiettivo principale di sostenere l'azione umanitaria a livello internazionale, razionalizzando il processo decisionale grazie alla formazione di una base oggettiva per la valutazione della vulnerabilità.

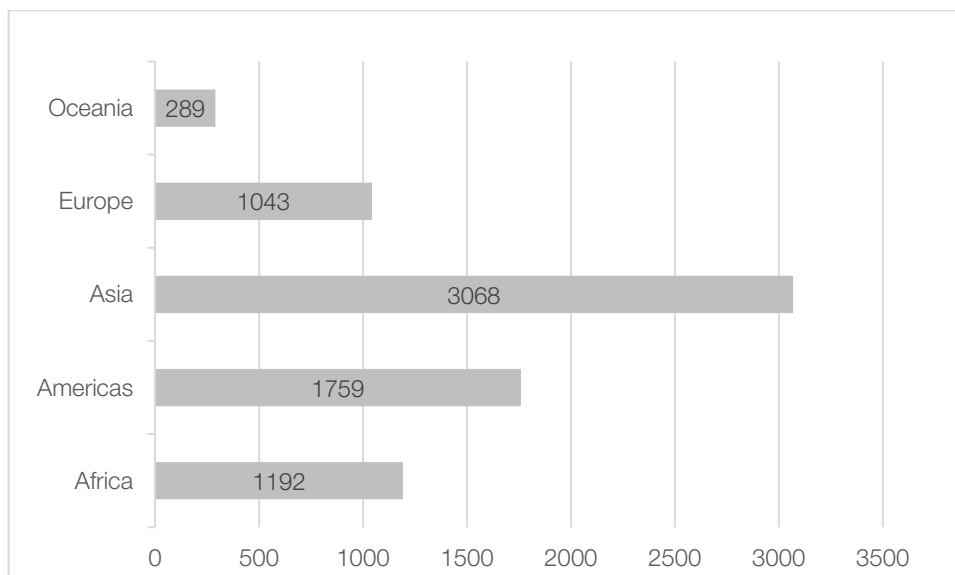
Contiene i dati riferiti ai circa 18.000 eventi disastrosi occorsi nel mondo dal 1900 ad oggi, ed è stato formato raccogliendo informazioni da varie fonti: Agenzie delle Nazioni Unite, organizzazioni non governative, compagnie di assicurazione, istituti di ricerca e agenzie di stampa.

- Biologici: epidemie (malattie virali, battereologiche, parassite, fungine), infestazione di insetti, incidenti di animali;
- Extra-Terrestri: eventi spaziali (tempeste solari, onde d'urto)
- Disastri tecnologici:
 - Tecnologici: incidenti industriali (sversamenti chimici, esplosioni, incendi, radiazioni), incidenti di trasporto (aereo, ferroviario, stradale), incidenti miscellanei (crolli, esplosioni, incendi);
 - Umani (disordini civili, emergenze complesse, movimenti di popolazione, eventi terroristici).

Perché un disastro sia riconosciuto come tale è necessario che un evento sia caratterizzato da almeno uno dei seguenti criteri: i) dieci o più persone rimaste uccise; ii) cento o più persone coinvolte; iii) dichiarazione di stato di emergenza; iv) richiesta di aiuto internazionale (EM-DAT). L'evento naturale diventa disastro quando sono coinvolte vite umane, e i mezzi di sussistenza risultano compromessi o distrutti.

La crescita globale della popolazione, in aree particolarmente esposte ai pericoli, comporta un conseguente aumento dei livelli di rischio di disastro in quanto un numero sempre crescente di persone è esposta a potenziali danni. Le statistiche dell'EM-DAT dimostrano che i paesi con la maggiore concentrazione di eventi disastrosi nel ventennio 2000-2019 sono l'Asia (3.068 eventi disastrosi), le Americhe (1.759 eventi disastrosi), e l'Africa (1.192 eventi disastrosi) (Figura 1.1).

Figura 1.1 | Numero di disastri naturali per continente, 2000-2019. Fonte: EM-DAT.



L'alta frequenza di impatti disastrosi in Asia è dovuta sicuramente alle estese dimensioni del continente ma anche alle caratteristiche del paesaggio che è estremamente suscettibile ai pericoli naturali, quali per esempio i bacini fluviali, le golene, le faglie sismiche. In termini di paesi colpiti, la Cina ha registrato 577 eventi disastrosi, gli Stati Uniti d'America 470 eventi disastrosi, seguiti dall'India (321), dalle Filippine (304) e dall'Indonesia (278).

In tutto il mondo, i disastri naturali più comuni sono le inondazioni, che coprono il 44% del totale dei disastri naturali. I cicloni sono il secondo tipo di evento più frequente, corrispondenti al 28%. Gli eventi geofisici, come i terremoti e le attività vulcaniche ricoprono l'8% degli eventi complessivi (Tabella 1.4).

Tabella 1.4 | Percentuali di occorrenza di disastri per tipo di disastro, 2000-2019. Fonte: EM-DAT

Inondazioni	Cicloni	Terremoti	Temperature estreme	Frane
44%	28%	8%	6%	5%
Siccità	Incendi	Attività vulcaniche	Movimenti di masse	
5%	3%	1%	<1%	

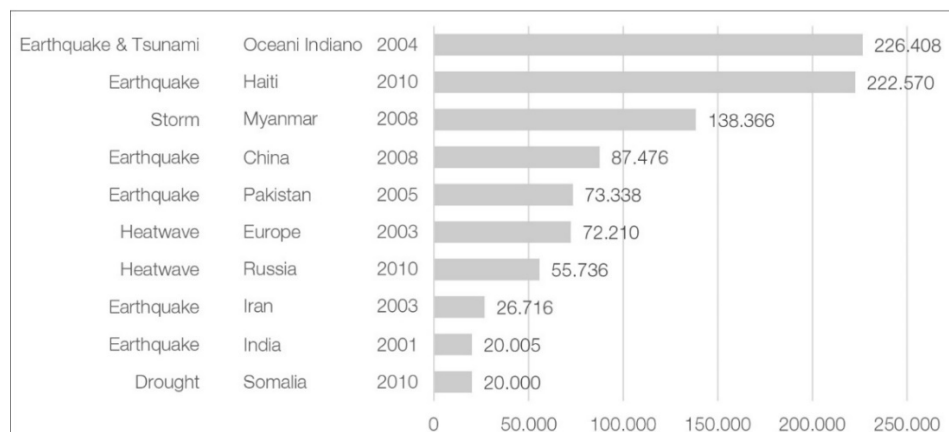
In particolare modo il CRED definisce mega disastro quello che coinvolge più di 100.000 vite. Nel ventennio 2000-2019 si sono verificati tre mega disastri: il terremoto e conseguente tsunami nell'Oceano Indiano nel 2004, il Ciclone Nargis in Myanmar nel 2008, e il terremoto ad Haiti nel 2010. Facendo una stima degli eventi naturali disastrosi per numero di persone coinvolte, i primi dieci eventi disastrosi registrano un numero di vittime pari a 942.850, numero nove volte superiore alle inondazioni, evento naturale che si è manifestato con più frequenza nel ventennio 2000-2019. Inoltre in confronto a tutti gli altri eventi disastrosi, i primi 10 disastri per numero di vittime, registrano in totale il 76% delle vittime, mentre il restante 7.338 (sul totale dei 7.348 eventi disastrosi) ne registra il 24% (Figura 1.2).

Notevoli sono le perdite economiche dovute ai disastri ambientali. Si registra che le perdite economiche rapportate al GDP (*Gross Domestic Product*) risultano molto differenti tra i paesi. Nonostante i paesi a maggiore reddito siano quelli con le maggiori perdite economiche rapportate al resto del mondo, essi hanno tuttavia i più bassi livelli di perdite in relazione al GDP. Differentemente, i paesi a basso reddito hanno perdite rapportate al GDP tre volte superiori.

La Figura 1.2 evidenzia che i terremoti rappresentano quel tipo di fenomeno naturale che coinvolge il maggior numero di vittime, i cui effetti sono evidenti nel breve periodo ma le cui conseguenze durano per lunghi periodi, in particolare quando si concentrano alcuni fattori chiave: l'elevata densità demografica in aree a rischio, particolarmente evidente in Paesi in via di

sviluppo, ma altrettanto in Paesi ad alto reddito; l'incapacità delle autorità locali di gestire la ricostruzione; la mancanza di politiche di prevenzione rispetto ai fenomeni di rischio naturale.

Figura 1.2| I dieci eventi disastrosi più mortali, 2000-2019. Fonte: adattato da EM-DAT



Il lavoro di ricerca si concentra sull'accadimento di eventi naturali estremi quali il terremoto che in certe condizioni può essere la causa dei disastri, causando impatti negativi importanti sulle comunità colpite.

È dunque fondamentale individuare i fattori che favoriscono l'accadimento di tali fenomeni disastrosi al fine di circoscrivere il problema a specifici contesti territoriali dove definire opportune politiche e azioni di intervento.

1.4 I principali *drivers* del rischio urbano

Globalmente il numero degli eventi pericolosi che ha colpito l'umanità è in rapido aumento. Ogni contesto urbano e locale è colpito in maniera differente, in funzione del pericolo prevalente, del livello di esposizione e di vulnerabilità. Molte aree suscettibili ai disastri sono caratterizzate da elevate densità di popolazione.

Nell'*Handbook for Local Government Leaders* del 2017 (UNISDR) sono individuati i principali fattori che influenzano le condizioni di rischio urbano:

- La crescita della popolazione e della densità urbana, che mettono sotto pressione il territorio e i servizi, aumentando gli insediamenti nelle aree costiere, lungo i pendii instabili e nelle aree a rischio.
- La mancanza di risorse economiche e di capacità nella gestione governativa locale, inclusi ruoli non chiari nella risposta al rischio di disastri.
- La debole *governance* locale e l'insufficiente partecipazione degli *stakeholders* nella pianificazione urbana.
- Il declino degli ecosistemi, a causa di attività antropiche come la costruzione di strade, l'inquinamento, la bonifica delle zone umide e l'estrazione di risorse insostenibili, che minaccia la capacità di fornire

servizi essenziali come la regolazione e la protezione dalle inondazioni.

- Il pessimo stato di manutenzione delle infrastrutture e uno stock edilizio non sicuro, principale causa del collasso delle strutture.
- Una gestione inadeguata delle risorse idriche, dei sistemi di drenaggio e gestione dei rifiuti solidi, che causano emergenze sanitarie, alluvioni e smottamenti.
- Servizi di emergenza non coordinati, che riducono la capacità di risposta rapida.
- Gli effetti negativi dei cambiamenti climatici che probabilmente aumenteranno o diminuiranno le temperature estreme e le precipitazioni, con un impatto sulla frequenza, intensità e localizzazione di alluvioni e altri disastri legati al clima.

Se la crescita della popolazione e della densità urbana rappresentano fattori di rischio, un ulteriore fattore di vulnerabilità è legato alla trasformazione della popolazione.

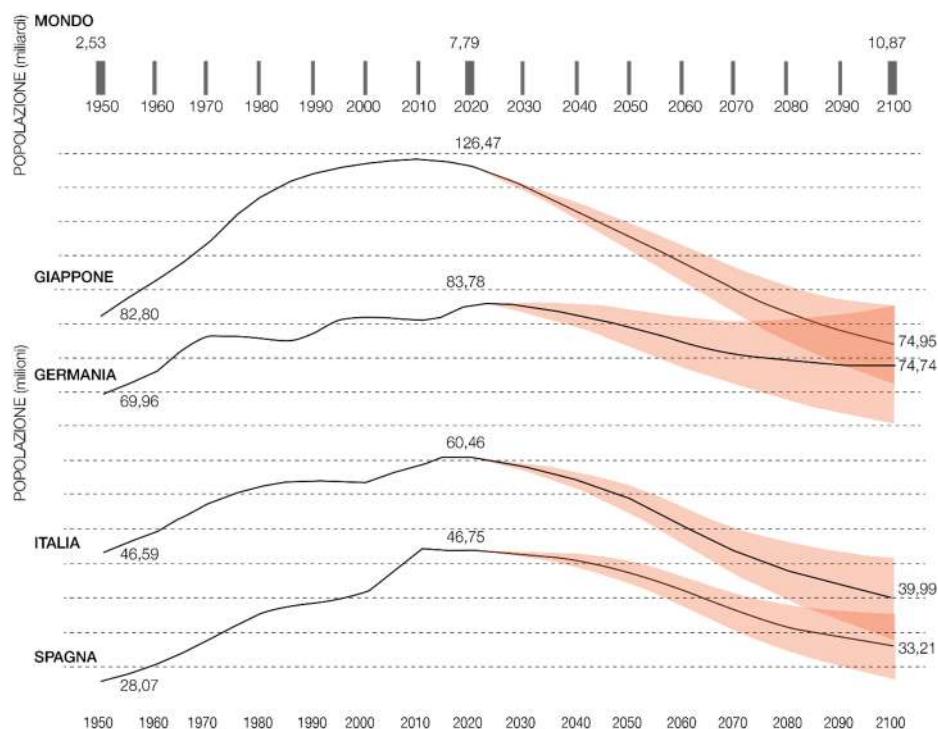
Secondo una recente ricerca dell'istituto IPSOS (Bricker, 2021), tre fattori chiave stanno cambiando radicalmente la struttura della popolazione: l'urbanizzazione, il tasso di natalità e l'invecchiamento.

– *Urbanizzazione*

La popolazione mondiale nel 2020 è arrivata a 7,79 miliardi. Tuttavia la crescita della popolazione è destinata a subire un rallentamento, e secondo le stime delle Nazioni Unite, alcuni Paesi ridurranno sensibilmente la popolazione presente nei rispettivi confini entro il 2100 (Figura 1.3). Quello che cresce è la percentuale di persone che vivono nelle grandi aree metropolitane, spostandosi dalle campagne. La più grande migrazione della storia umana è avvenuta nell'ultimo secolo e continua ancora oggi. Nel 1960, un terzo dell'umanità viveva in città, oggi più del 50% della popolazione mondiale vive nelle città e si stima che entro il 2050 questa percentuale raggiungerà il 68% (UNDESA, 2018). I rapidi processi di urbanizzazione mettono a dura prova i territori, se non incrociati con strategie di pianificazione sostenibile e decisioni di utilizzo del suolo compatibili con le nuove emergenze ambientali. Spesso i nuovi insediamenti si sviluppano in aree che sono suscettibili ai pericoli come per esempio le aree costiere, le golene, i pendii instabili e ripidi e in aree con caratteristiche territoriali tali da risultare particolarmente attrattive dal punto di vista economico. Questo spiega perché i suoli vulcanici particolarmente fertili, le piane alluvionali per la vicinanza a corsi d'acqua e fiumi che garantivano facili scambi commerciali, sono stati scelti come sede ottimale per lo sviluppo urbano. I vantaggi economici garantiti dalla presenza di un fiume o di un accesso all'autostrada hanno attirato investimenti ingenti in aree a elevato rischio naturale. Ne consegue che quello che potrebbe apparire il perseguimento di un interesse pubblico, legato al mero utilizzo della risorsa territorio, rappresenta in realtà motivo di danno sia dal punto di vista ambientale che

dal punto di vista della sicurezza di beni e persone (Burby, 1998). L'urbanizzazione rappresenta motivo di opportunità economico-sociale, e allo stesso tempo causa dell'incremento dei fattori di rischio e di vulnerabilità.

Figura 1.3 | Popolazione totale dal 1950 al 2020 e proiezione al 2100. Fonte: adattata da United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.



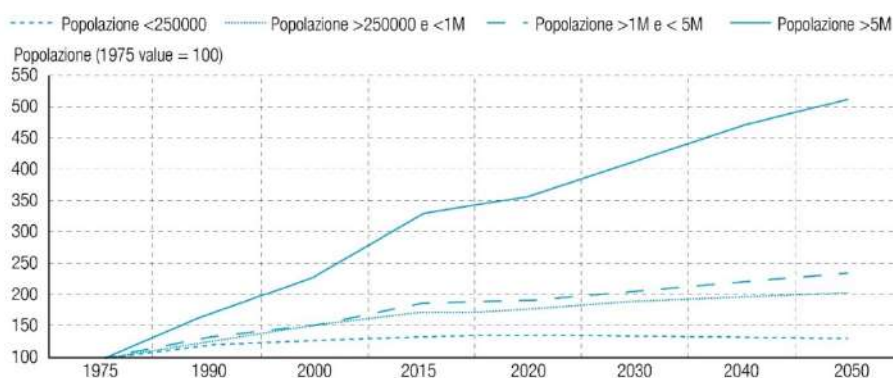
I paesi a più alto reddito hanno la quota maggiore di popolazione residente nelle Aree Funzionali Urbane⁶ (FUAs - *Functional Urban Areas*) ma questa proporzione sta crescendo più rapidamente nei paesi a basso reddito. L'America del Nord, l'America Latina con i Caraibi e l'Europa sono le regioni più urbanizzate, con un rapporto della popolazione urbana sul totale della popolazione pari rispettivamente a 82%, 80% e 73% (UNISDR, 2017). L'Africa e l'Asia d'altro canto si stanno urbanizzando molto velocemente rispetto ad altre regioni, e rappresentano anche le zone che hanno subito il maggior numero di danni nel ventennio appena trascorso (2000-2019). Tra il 2000 e il

⁶ L'OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) e l'Unione Europea hanno sviluppato una metodologia per definire le Aree Funzionali Urbane (FUAs) in maniera coerente in tutti i paesi. Un'Area Funzionale Urbana è costituita da una città densamente abitata ed un'area circostante (area di pendolarismo) in cui il mercato del lavoro è strettamente legato alla città principale (Dijkstra, Poelman, Veneri, 2019). L'obiettivo dell'OECD e dell'Unione Europea è quello di creare una definizione univoca di città e delle aree di influenza tale da garantire un confronto su argomenti connessi allo sviluppo urbano, che prescindano dai livelli amministrativi specifici di ogni paese.

Un'Area Funzionale Urbana è caratterizzata da una popolazione minima di 50.000 abitanti e una densità di 1500 ab/km² e da una zona di pendolarismo, caratterizzata da un set di unità amministrative locali contigue dove almeno il 15% degli impiegati residenti lavora nella città.

2015 globalmente la popolazione che vive nelle FUAs è cresciuta di 1,3% per anno. Nei paesi a basso reddito questa crescita è stata del 3% per anno. Le città con il tasso di crescita maggiore nello stesso periodo si trovano nell'Africa Sub-Sahariana, con il 3% annuo, riflettendo sia l'alto tasso di crescita della popolazione in quelle regioni sia la crescente urbanizzazione. I tassi più bassi di crescita sono stati registrati in Asia Centrale ed in Europa, dove la popolazione delle FUAs è cresciuta dello 0,55% per anno. Dal 1975 al 2015, la quota di popolazione che vive nelle grandi aree metropolitane (con una popolazione superiore ai 5 milioni di abitanti) è passata da 2,1 miliardi a 4,9 miliardi (53,7% della popolazione mondiale) (Figura 1.4). Si prevede che la crescita nelle grandi aree metropolitane, nei prossimi trent'anni, sarà del 180% spinta principalmente dai paesi a basso reddito. Secondo queste proiezioni (Jones et al., in pubblicazione) la crescita nelle aree metropolitane più piccole sarà, invece, più lenta, senza superare il 40% nello stesso intervallo di tempo.

Figura 1.4 | Variazioni nella popolazione globale nelle FUAs, 1975-2050. Fonte: adattata da OECD (2020)



I trend dimostrano che le grandi aree metropolitane crescono rapidamente, mentre si osserva che circa il 20% delle Aree Funzionali Urbane globalmente stia avendo una fase di stagnazione partita nel 2000. Questa stagnazione è particolarmente accentuata in Lituania e Lettonia dove tutte le città hanno perso popolazione. In Ungheria, Giappone, Corea e Slovenia circa la metà delle città ha registrato una considerevole perdita di popolazione nello stesso intervallo di tempo.

Sulla base della classificazione dell'OECD, l'Italia è caratterizzata da 79 Aree Funzionali Urbane: nel 24% di queste la popolazione ha subito una stagnazione costante a partire dal 2000. Se si escludessero le aree di pendolarismo, in totale il 41% delle città ha subito un processo di suburbanizzazione.

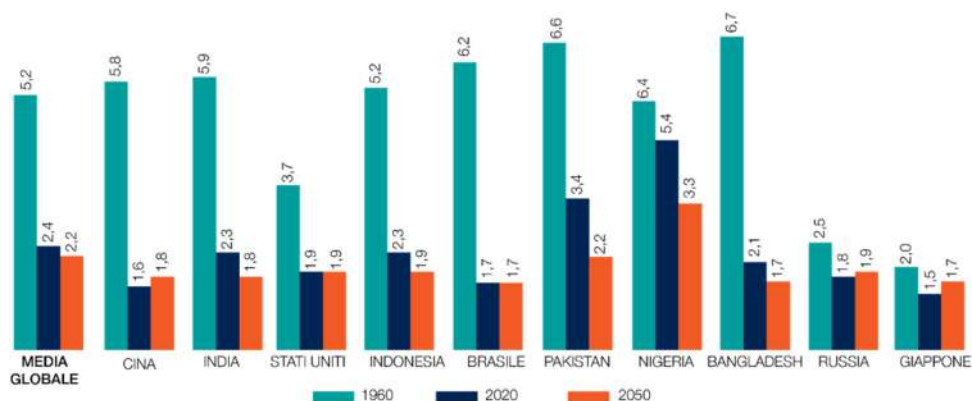
– *Tasso di natalità*

La causa principale della stagnazione della popolazione è la bassa fecondità, fenomeno che si osserva a livello globale e particolarmente evidente in Italia.

Nella maggior parte dei Paesi sviluppati oggi il tasso di natalità delle donne oltre i 40 anni ha superato quello delle donne di 20 anni e più giovani. Affinché l'umanità si mantenga semplicemente stabile, c'è bisogno di un tasso di natalità di 2,1. Questo è chiamato il tasso di sostituzione naturale della popolazione ed è lo scenario in cui ci sono abbastanza nascite per sostituire le morti che si registrano annualmente.

Dal 1960, il tasso di natalità nei dieci Paesi più popolosi del mondo è diminuito di oltre la metà e in 8 di questi dieci Paesi, il tasso di sostituzione naturale è al di sotto del valore di 2,1 (Figura 1.5).

Figura 1.5| Declino del tasso di natalità nei 10 Paesi più popolosi del mondo. Fonte: adattata da UN Population Division



Il Rapporto sulla Popolazione dell'AISP⁷ (2021) conferma che una delle ragioni principali della stagnazione della popolazione a partire dal 2000 è la cosiddetta 'trappola demografica'⁸, caratterizzata dalla bassa fecondità, che in Italia nel 2020 si attesta a 1,24 figli per donna.

⁷ L'AISP - Associazione Italiana per gli Studi sulla Popolazione - è la Sezione Demografica della Società Italiana di Statistica (SIS). Fondata nel 2008 (precedentemente Gruppo per il Coordinamento della Demografia), l'AISP promuove gli studi sulla popolazione, l'insegnamento della demografia, la realizzazione di pubblicazioni e l'organizzazione di incontri e convegni su tematiche socio-demografiche.

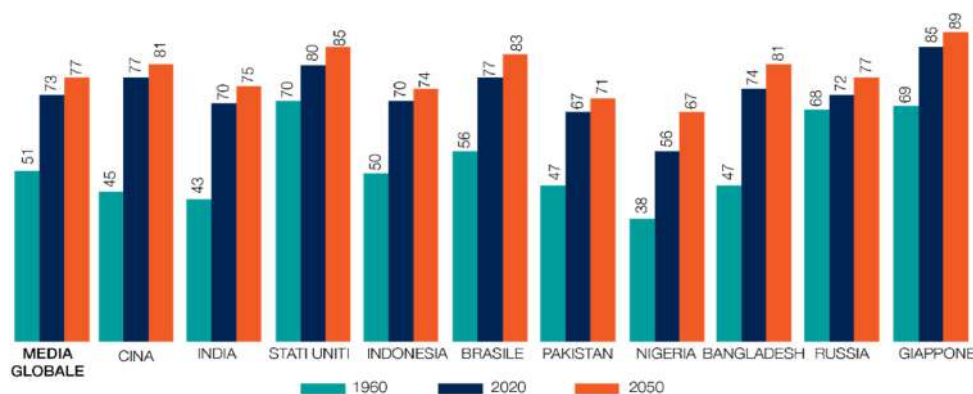
⁸ Oltre che della bassa fecondità la 'trappola demografica' è risultato della ridotta riproduttività del passato, della persistente e limitata propensione ad avere figli.

– *Invecchiamento*

La crescita della popolazione mondiale attuale non sta avvenendo in relazione al numero di nascite, ma all'allungamento della vita: si vive di più, ma allo stesso tempo il mondo invecchia. La Figura 1.6 mostra i *trend* di invecchiamento della popolazione a livello globale, secondo le stime delle Nazioni Unite: la speranza di vita per i dieci Paesi più popolosi del mondo dal 1960 ad oggi e le stime fino al 2050. La Cina in meno di un secolo aumenterà la speranza di vita di 36 anni; l'India di 32 anni.

In Italia la speranza di vita è in costante aumento: dal 1975 ad oggi la speranza di vita alla nascita è passata da 69 a 82 anni (Istat, 2020).

Figura 1.6| Speranza di vita nei 10 Paesi più popolosi del mondo. Fonte: adattata da UN Population Division

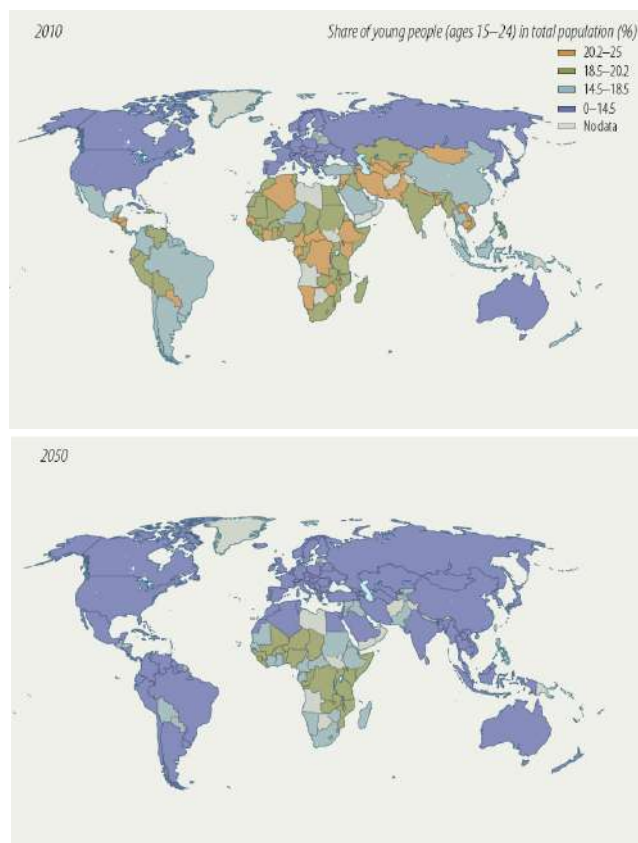


Entro il 2050 la quota di popolazione giovane (15-24 anni) – un periodo chiave in cui i giovani entrano in contatto con il mondo del lavoro - si stima che si ridurrà del 13,8%, con il calo maggiore atteso nell'Est dell'Asia e nel Pacifico (dal 17,3% nel 2020, al 10,70% nel 2050). Dall'analisi spaziale emerge che la quota di giovani sul totale della popolazione si ridurrà nella maggior parte degli Stati entro il 2050 (Figura 1.7). Questi *drivers* di rischio mettono in evidenza come nella *risk analysis* sia importante tanto la conoscenza fisica del territorio, caratterizzata da un pessimo stato di manutenzione delle infrastrutture e da uno stock edilizio sotto-standard⁹, da attività antropiche che esercitano pressioni sugli ecosistemi, quanto la conoscenza delle trasformazioni della popolazione in atto.

⁹ In uno studio condotto dalle Nazioni Unite (UNISDR, 2017) in partnership con il CUDRR+R (Center for Urban Disaster Risk Reduction and Resilience) dal titolo *Local Government Powers for Disaster Risk Reduction: A Study on Local Level Authority and Capacity for Resilience* (Gencer, 2017), viene evidenziato come i governi locali frequentemente non abbiano le risorse per rafforzare i regolamenti edilizi e rilasciare autorizzazioni in modo tempestivo ed efficiente in termini di costi: questa situazione ha contribuito alla diffusione di edilizia illegale, priva dei necessari vincoli edilizi in relazione all'area di rischio. Su un totale di 151 autorità locali coinvolte in differenti parti del mondo soltanto il 35% dei governi locali ha riportato di avere uno staff adeguato e tecnicamente capace per aggiornare e rafforzare i regolamenti edilizi già esistenti, anche se il 46% ha piena responsabilità di intraprendere queste azioni in quanto di loro competenza.

Entrambi gli aspetti caratterizzano le componenti della vulnerabilità nella duplice interpretazione del termine: la vulnerabilità fisica e la vulnerabilità sociale, ovvero il lato interno del rischio (UNISDR, 2004; Birkmann, 2006).

Figura 1.7 | Quota di popolazione giovane (15-24 anni) sul totale della popolazione, nel 2010 sopra e nel 2050 sotto. Fonte: Human Development Report Office sulla base di Lutz and KC (2013).



1.5 Drivers di rischio urbano in Italia

La 'dimensione territoriale' rappresenta il motore per lo sviluppo regionale endogeno. Per comprenderla, è indispensabile la descrizione dettagliata dei territori, delle conformazioni naturali e delle caratterizzazioni determinate dall'intervento umano, così come è necessario lo studio delle potenzialità, delle risorse e delle criticità dei luoghi. Approfondire la conoscenza di questa dimensione, della molteplicità e specificità dei fattori che interagiscono, rappresenta il fondamento per definire le politiche di sviluppo sostenibile, conservazione e promozione dei territori, con l'obiettivo primario di garantire la migliore qualità della vita alle popolazioni che nei territori risiedono.

In linea con il trend internazionale, anche l'Italia registra trasformazioni demografiche rilevanti: la diminuzione della fecondità, l'innalzamento della vita media, e il tendenziale invecchiamento della popolazione (Istat, 2021).

Il primo gennaio del 2019, la popolazione totale residente è di poco inferiore ai 60 milioni di individui¹⁰. Il calo degli iscritti in anagrafe (-0,3% rispetto al 2018) è dovuto in larga misura alla dinamica naturale ed è prevalentemente attribuibile alla popolazione residente di cittadinanza italiana. Il tasso di crescita naturale registra un ulteriore picco negativo, attestandosi a -3,6 per mille¹¹.

Nel 2019, le donne residenti in Italia hanno in media 1,27 figli (1,29 nel 2018)¹², accentuando la diminuzione in atto dal 2010, anno in cui per il tasso di fecondità totale si è registrato il massimo relativo di 1,46 figli per donna. Le donne residenti in Italia hanno accentuato il rinvio dell'esperienza riproduttiva verso età sempre più avanzate: l'età media al parto aumenta raggiungendo i 32,1 anni.

Nel 2019, la speranza di vita alla nascita¹³ della popolazione residente italiana è di 81,1 anni per gli uomini e di 85,4 per le donne. L'indicatore, per entrambi i generi, segna un incremento rispetto all'anno precedente.

Rispetto al 1° gennaio 2020, l'indice di dipendenza resta sostanzialmente stabile, passando da 56,4 a 56,7 e confermando la presenza di uno squilibrio fra le generazioni. Continua a crescere invece l'indice di vecchiaia con un aumento di oltre 5 punti percentuali tra il 2019 e il 2020, raggiungendo quota 179,3 anziani ogni cento giovani, il valore più alto rispetto ai Paesi dell'Unione Europea.

Nonostante la densità di popolazione continui a diminuire nel 2019, l'Italia resta uno dei Paesi dell'Unione Europea più densamente popolati: infatti, a fronte di una media europea di 109 abitanti per kmq, la media italiana corrisponde a 201,5 (Eurostat, 2019)¹⁴.

I processi di urbanizzazione che hanno caratterizzato l'ultimo ventennio, anche in Italia, sono stati guidati dai sistemi metropolitani regionali: aree vaste e complesse, articolate in sistemi integrati di centralità urbane che intrattengono un fitto numero di interazioni e scambi e rappresentano un luogo di concentrazione di funzioni. La spinta propulsiva espressa da queste aree ha richiamato dinamiche simili a quelle degli anni '50 e '60, quando i flussi migratori erano principalmente orientati verso l'estero o verso le grandi città del triangolo industriale del Nord e particolarmente coinvolgevano la popolazione che dal Sud si spingeva al Nord del Paese e dalle campagne

¹⁰ L'Italia si conferma al quarto posto rispetto ai Paesi dell'Unione Europea per popolazione complessiva, corrispondente al 12% della popolazione UE, dopo Germania (83 milioni), Francia (67 milioni) e Regno Unito (66,6 milioni).

¹¹ Rispetto agli altri Paesi dell'Unione Europea, l'Italia si colloca al ventiduesimo posto per il tasso di crescita naturale, ben al di sotto della media europea (-0,8). Posizione quasi analoga per quanto riguarda il tasso migratorio (0,7 per mille abitanti a fronte di una media UE di 3,2).

¹² L'Italia è tra i Paesi UE a più bassa fecondità, preceduta solo da Malta (1,23) e Spagna (1,26).

¹³ I dati confermano che l'Italia è tra i Paesi Europei con i valori più alti di speranza di vita alla nascita.

¹⁴ <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tps00003/default/table?lang=en>
[consultato in data: 10/11/2021]

alle città, con un vasto riassetto dei carichi insediativi sul territorio, troppo spesso associato ad un aggravamento delle condizioni di stress ambientale delle aree maggiormente attrattive (Ance/Cresme, 2012). I nuovi assetti geo-economici hanno caratterizzato una dimensione agglomerativa distribuita su area vasta, garantendo più elevati livelli di reddito e di crescita occupazionale, diventando attrattivi per i flussi migratori. Le aree più dinamiche dal punto di vista occupazionale e demografico si trovano nei sistemi metropolitani del Nord (Lombardo, Veneto ed Emiliano) e in quello Romano: d'altra parte, invece, si riscontra una profonda debolezza del Sud del Paese, dove quasi tutte le città registrano dinamiche di perdita di popolazione (Messina con -11%), e 'hinterland stanco' (Tabella 1.5 e 1.6). In questo scenario i centri metropolitani esistenti hanno anche vissuto un rilevante ridimensionamento del peso demografico, mentre i comuni dell'hinterland, oltre ad accogliere molte delle attività espulse dalle città centrali, hanno vissuto un forte rafforzamento della funzione residenziale (Ance/Cresme, 2012). I dati demografici delle principali città italiane (Tabella 1.5) descrivono bene il fenomeno: la popolazione residente nel complesso dei comuni capoluogo ha segnato una variazione media complessiva di -2%, tra il 2001 e il 2021, evidenziando in tutte le province meridionali dinamiche negative. La crescita demografica ha infatti interessato i comuni dell'hinterland metropolitano segnando complessivamente un incremento medio complessivo del 4%, con punte del 25% a Roma, del 16% a Verona, e del 15% a Bologna (Tabella 1.6). Non si può sostenere che questa crescita demografica sia da attribuire integralmente a fenomeni di 'espulsione' determinati dai costi troppo alti delle case in aree più centrali, alcuni magari hanno cercato maggiore qualità ambientale, altri si sono avvicinati al posto di lavoro nei poli produttivi delocalizzati all'esterno, ma senz'altro l'ultima fase espansiva ha determinato una sostanziale riconfigurazione dei pesi insediativi e delle funzioni strutturanti, valorizzando gran parte del patrimonio edilizio di molti dei comuni di seconda e terza cintura delle principali aree metropolitane e, soprattutto, alimentando un enorme consumo di suolo.

Tabella 1.5| Popolazione residente nelle principali città italiane anni 2001-2021. Fonte: elaborazioni su dati Istat

Capoluogo	2001	2011	2021	Variazione complessiva 2001-2021
Bari	316.532	320.475	313.003	-1%
Bologna	371.217	371.337	394.463	6%
Catania	313.110	293.902	294.298	-6%
Firenze	356.118	358.079	359.755	1%
Genova	610.307	586.180	558.930	-8%
Messina	252.026	243.262	225.546	-11%
Milano	1.256.211	1.242.123	1.397.715	11%

Napoli	1.004.500	962.003	940.940	-6%
Palermo	686.722	657.561	640.720	-7%
Roma	2.546.804	2.617.175	2.783.809	9%
Torino	865.263	872.367	848.196	-2%
Venezia	271.073	261.362	255.609	-6%
Verona	253.208	252.520	257.838	2%
Cagliari	163.671	156.488	149.474	-9%

Tabella 1.6| Popolazione residente nell'hinterland delle principali città italiane anni 2001-2021.
Fonte: elaborazioni su dati Istat

Resto della Provincia (escluso il capoluogo)	2001	2011	2021	Variazione complessiva 2001-2021
Bari	901.506	926.267	909.815	1%
Bologna	544.008	604.716	625.076	15%
Catania	741.668	784.143	772.467	4%
Firenze	577.742	614.153	626.246	8%
Genova	267.775	267.759	257.986	-4%
Messina	410.424	406.058	383.677	-7%
Milano	1.684.368	1.793.320	1.852.106	10%
Napoli	2.054.696	2.091.244	2.076.718	1%
Palermo	549.201	584.999	573.571	4%
Roma	1.153.620	1.378.075	1.443.779	25%
Torino	1.300.356	1.371.015	1.364.800	5%
Venezia	538.513	584.913	587.333	9%
Verona	573.374	647.297	664.453	16%
Cagliari	379.329	393.405	270.643	-29%

L'Italia è esposta ad una serie di importanti pericoli naturali e risulta caratterizzata da rilevanti livelli di esposizione urbana.

Secondo il rapporto Ance/Cresme sullo stato del territorio italiano (Ance/Cresme, 2012) rispetto al resto dei Paesi del Mediterraneo, l'Italia è un Paese a sismicità medio-alta. La sismicità di un territorio è direttamente proporzionale alla frequenza con cui si manifestano terremoti; quella italiana dipende essenzialmente dal fatto che essa è situata al margine di convergenza tra due grandi placche, quella africana e quella euroasiatica. Il movimento relativo tra queste due placche causa l'accumulo di energia e deformazione che occasionalmente vengono rilasciati sotto forma di terremoti di varia entità (Petrucci, Carlino, 2015).

Dalle mappe prodotte dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sulla storia sismica del nostro Paese emerge con chiarezza che la sismicità si concentra soprattutto lungo la catena degli Appennini, nella parte orientale delle Alpi e in corrispondenza delle aree vulcaniche. Per l'INGV «È evidente una elevata sismicità crostale al largo delle coste settentrionali della Sicilia mentre la zona del Tirreno meridionale è caratterizzata anche da sismicità profonda (fino a 600 km), dovuta al processo di subduzione della litosfera

ionica al di sotto della Calabria. Sul Monte Etna è stata registrata una notevole attività sismica con frequenti terremoti di magnitudo superiore a 4,0. In Italia settentrionale la sismicità si concentra principalmente lungo la fascia prealpina orientale».

La maggior parte degli eventi sismici rilevati dagli strumenti non viene avvertita dalla popolazione sia perché di magnitudo inferiore a 4,0, sia perché il loro epicentro ricade in zone non crostali. Negli ultimi 30 anni oltre 50 terremoti hanno avuto magnitudo Richter superiore a 5,0.

In particolare, ricavando informazioni dalle mappe aggiornate dal Dipartimento di Protezione Civile (Figura 1.8) riguardo la classificazione sismica del territorio italiano, i comuni potenzialmente interessati da un alto rischio sismico (zone 1) sono 706, quelli a rischio medio-alto (zone 2-2A-2B) sono 2.187, oltre 2000 sono i comuni con rischio medio-basso (zone 3-3A-3B-3s) e quasi 3.200 i comuni in cui il rischio è basso (zone 4). I comuni interessati quindi da un rischio alto sono in totale 2.893 pari cioè al 35,8% dei comuni italiani.

Secondo il rapporto Ance/Cresme sullo stato del territorio italiano nei comuni esposti ad alto rischio risiedono quasi 3 milioni di abitanti e 18,8 milioni sono nei comuni a rischio medio che complessivamente equivalgono al 36,2% della popolazione.

Nella quota di territorio a più elevato rischio sismico si stima che ricadano 10,7 milioni di abitazioni e 5,4 milioni di edifici: la percentuale maggiore degli edifici è rappresentata da quelli residenziali (86%)¹⁵. Le regioni più colpite dal problema dell'esposizione del patrimonio edilizio al rischio sismico sono la Sicilia e la Campania. In Sicilia esistono quasi 2,5 milioni di abitazioni nelle aree di rischio più elevato. Gli edifici ricadenti in queste aree sono quasi 1,5 milioni, di cui oltre 1,2 milioni ad uso prevalentemente residenziale. Gli edifici ad uso commerciale nelle aree di rischio sono quasi 15 mila mentre quelli ad uso produttivo circa 12,6 mila. In Campania si stima che ben 2,1 milioni di abitazioni si trovano nei comuni a rischio potenzialmente elevato, vale a dire circa 785 mila edifici. Anche rispetto al settore non residenziale la regione si trova tra le più colpite con oltre 118 mila edifici esistenti nelle aree di potenziale rischio maggiore.

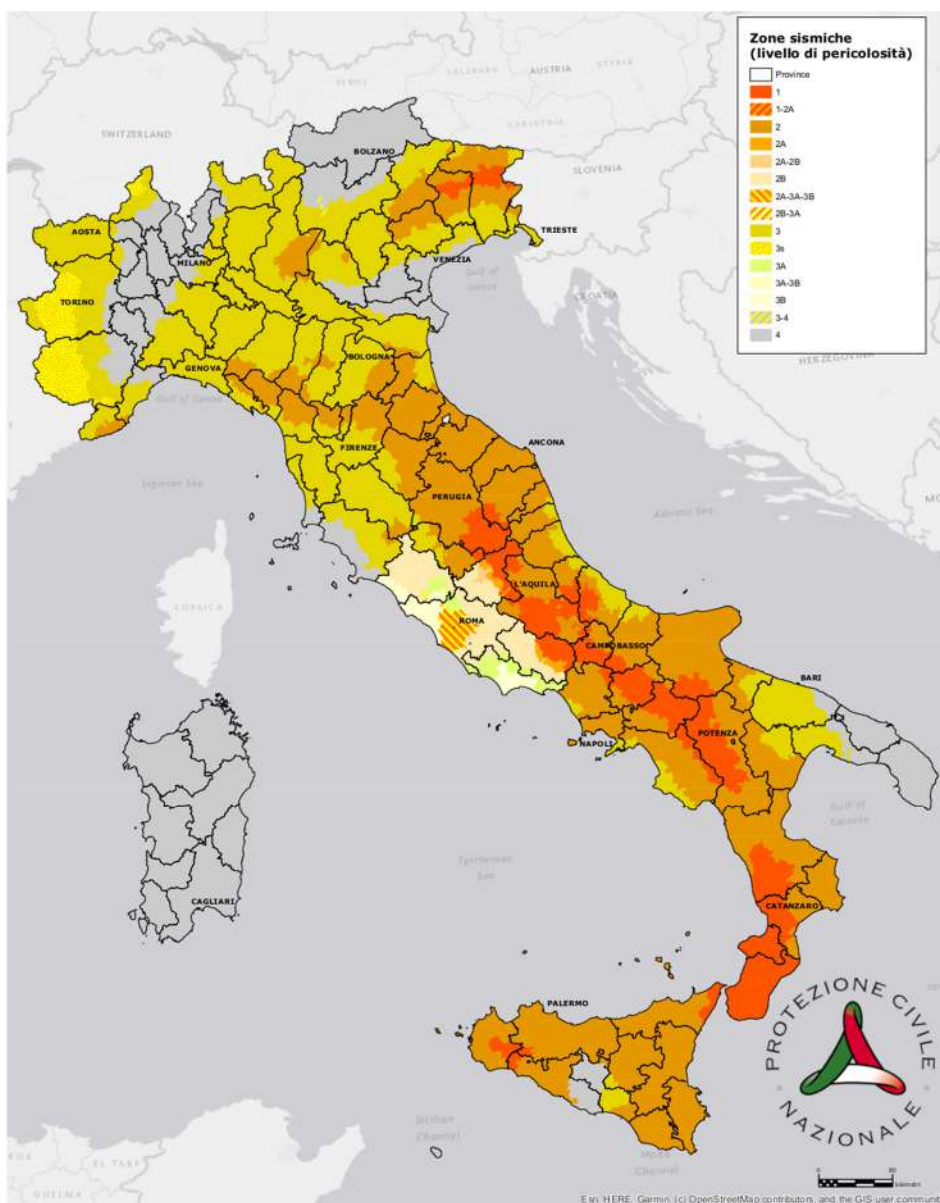
È evidente come tra tutti i *drivers* sussista una forte interdipendenza. È difficile comprendere se la crescita dei disastri sia legata al fatto che la crescita della popolazione incrementi il numero delle persone colpite dai disastri.

È certo sicuramente che il sistema antropico produce sui sistemi naturali pressioni negative che possono portare a un incremento delle condizioni di rischio di un territorio e a una maggiore distruttività di determinati eventi calamitosi. Ma sono sostanzialmente i crescenti livelli di vulnerabilità ed

¹⁵ Questo dato è frutto di una stima che si basa sulla quota percentuale di popolazione ricadente in zona sismica 1 o 2 rispetto alla quale è stata determinata la quota di edifici esposti a rischio potenziale.

esposizione ai pericoli che caratterizzano le attuali comunità urbane a causare maggiormente tali condizioni di rischio urbano.

Figura 1.8| Classificazione sismica al 2020, Italia. Fonte: Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile



Riferimenti bibliografici

Adams J. (1995), *Risk*, Routledge, Taylor and Francis Group, London.

AISP (Associazione Italiana per gli Studi di Popolazione) (2021), *Rapporto sulla Popolazione. L'Italia e le sfide della demografia*, Il Mulino, Bologna.

Alexander D. (2008), Mainstreaming Disaster Risk Management, In Lee Boshier (Ed.), *Hazards and the Built Environment: Attaining Built-in Resilience*, London: Taylor and Francis, 20-36.

Alexander D. (2012), Models of Social Vulnerability to Disasters, in *RCCS Annual Review* [Online], Issue n. 4, Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra.

ANCE/CRESME (2012), Primo Rapporto. *Lo stato del territorio italiano 2012. Insediamento e rischio sismico e idrogeologico*, ANCE/CRESME, Roma.

Aven T., O. Renn (2010), *Risk Management and Governance: Concepts, Guidelines and Applications*, Springer, New York.

Aven T., O. Renn, E.A. Rosa (2011), On the ontological status of the concept of risk, in *Safety Science*, 49(8), 1074-1079.

Beck U. (1986), *La società del rischio. Verso una seconda modernità*. Carocci editore, 4° ristampa, 2017, Roma.

Birkmann, J., (Ed.) (2006), *Measuring Vulnerability to Natural Hazards. Towards Disaster Resilient Societies*. UNU-Press, Tokyo, New York, Paris.

Birkmann J., O. Cardona, M. Carreño, A. Barbat, M. Pelling, S. Schneiderbauer, S. Kienberger, M. Keiler, D. Alexander, P. Zeil e T. Welle (2013), Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework, in *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, vol. 67, issue 2, 193-211.

Blaikie P., T. Cannon, I. Davis (1994), *At Risk: Natural Hazards, people's vulnerability and disasters*, London: Routledge.

Bramerini F., G. Di Pasquale, G. Orsini, A. Pugliese, R. Romeo, F. Sabetta (1995), *Rischio sismico del territorio italiano. Proposta di una metodologia e risultati preliminari*, Rapporto tecnico interno SSN, Roma.

Bricker D. (2021), *Emptier Planet. Are we ready for the shock of the global population decline?* IPSOS Knowledge Centre.

Burby R.J. (1998), *Cooperating with Nature: Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities*, Washington, D.C.: Joseph Henry Press.

Cardona O.D., M.K. van Aalst, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Perez, R.S. Pulwarty, E.L.F. Schipper, B.T. Sinh (2012), *Determinants of risk: exposure and vulnerability*, In *IPCC, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge (UK) and New York (NY, USA), 65–108.

Cerasa A. (2016), *Le scienze sociali e i risk studies: temi, problemi, metodi*, Miscellanea INGV, n. 32, ISSN 2039-6651.

CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters) e UNDRR (UN Office for Disaster Risk Reduction) 2020, *Human cost of disasters. An overview of the last 20 years, 2000-2019*.

Disponibile in [<https://reliefweb.int/report/world/human-cost-disasters-overview-last-20-years-2000-2019>].

Cremonini I. (1994), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici. Metodologie ed esperienze in Emilia Romagna*, Istituto Nazionale di Urbanistica Emilia Romagna, Firenze, Allinea.

Crichton D. (1999), *The risk triangle*, In J. Ingleton (Ed.) *Natural disaster management*. London: Tudor Rose.

Dilley M., R.S. Chen, U. Deichmann, A.L. Lerner-Lam, M. Arnold (2005), *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*, Washington, DC: World Bank. World Bank.

Dijkstra L., H. Poelman, P. Veneri (2019), *The EU-OECD definition of a functional urban area*, In *Regional Development Working Papers 2019/11*, OECD Publishing., 2012.

Di Sopra L., C. Palandra (1984), *La vulnerabilità sistemica come dimensione generatrice del rischio. Un approccio di scienza del territorio*, In *Teoria della vulnerabilità. Introduzione multidisciplinare*, F. Angeli, Milano.

Dwyer A., C. Zoppou, O. Nielsen, S. Day e S. Roberts (2004), *Quantifying Social Vulnerability: A Methodology for Identifying Those at Risk to Natural Hazards*, Canberra: Geoscience Australia.

Fabietti W. (1999), *Vulnerabilità e trasformazione dello spazio urbano*, Alinea, Firenze.

Fera G. (1991), *La città antisismica. Storie, strumenti e prospettive della pianificazione territoriale per la riduzione del rischio sismico*, Gangemi Editore, Roma.

Gencer E. (2017), *Local government powers for disaster risk reduction: A study on local-level authority and capacity for resilience*, Report UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) e CUDRR+R (Center for Urban Disaster Risk Reduction & Resilience).

Gerundo R., Fasolino I. (2010), *Sicurezza territoriale ed efficienza urbanistica. Teorie e strumenti*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli.

Giddens A. (1999), Risk and responsibility, In *Modern Law review*, 62(1): 1-10.

Granger K., T. G. Jones, M. Leiba, G. Scott (1999), Community Risk in Cairns: A Multi-hazard Risk Assessment, in *The Australian Journal of Emergency Management*, Volume 14, Issue 2, 25-26.

Hewitt K. (1983), *Interpretation of Calamity: From the Viewpoint of Human Ecology*, Boston: Allen & Unwin.

Jones B. et al. (in pubblicazione), *Projecting Global Population Grids to 2100*, Publications Office of the European Union.

Ligi G. (2009), *Antropologia dei disastri*, Editori Laterza, Bari.

Lombardi M. (1993), Sociologia delle emergenze. Aspetti e problematiche recenti, In Botta G. (a cura di), *Eventi naturali oggi. La geografia e le altre discipline*, Cisalpino, Milano 1993, 133-141.

Luhmann N. (1996), *Sociologia del rischio*, Bruno Mondadori, Milano.

Mileti D. (1999), *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*, Washington, D.C.: Joseph Henry Press.

OECD (2020), Global trends in city population growth, In *OECD Regions and Cities at a Glance 2020*, OECD Publishing, Paris.

Oliver-Smith A. (1996), Anthropological research on hazards and disasters, In *Annual Review of Anthropology*, n. 25, 303-328.

Petrucci G., S. Carlino (2015), Città distrutte e rifondate: il grande terremoto siciliano del 1693, In *GeoResearch Center Italy – GeoBlog* 9, ISSN 2240-7847.

Pidgeon N. (1998), Risk assessment, risk values and the social science programme: why we do need risk perception research, In *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 59, Issue 1, 5-15.

Pitzalis S. (2017), Abitare i disastri. Crisi e pratiche dell'abitare nel sisma emiliano, In *Antropologia*, Volume IV, n. 3.

Renn O. (1992), Concepts of risk: a classification, In S. Krimsky e D. Golding (Eds.) *Social Theories of Risk*, Praeger Westport, CT.

Slovic P., B. Fischhoff., S. Lichtenstein (1982), Why study risk perception, In *Risk Analysis*, 2(2), 83–93.

Stanganelli M. (2003a), La vulnerabilità territoriale ai rischi naturali, In *Atti della XXIV Conferenza Italiana di Scienze Regionali*, Perugia, 8-12 ottobre 2003.

Stanganelli M. (2003b), *Prevenzione e mitigazione dei rischi naturali nella pianificazione urbana e territoriale*, Università degli Studi di Napoli Federico II, Giannini Editore, Napoli.

Stenchion P. (1997), Development and disaster management, In *The Australian Journal of Emergency Management*, 12 (3), 40-44.

Thywissen K. (2006), Core terminology of disaster risk reduction: A comparative glossary, In J. Birkmann (Ed.) *Measuring Vulnerability to Natural Hazards*, Tokyo: UNU Press, 448-496.

UNDESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division) (2018), *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. Percentage of Population at Mid-Year Residing in Urban Areas by Region, Subregion, Country and Area, 1950-2050*. Online Edition.

UNDESA (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division) (2019), *World Population Prospects 2019, Volume II: Demographic Profiles (ST/ESA/SER.A/427)*.

UNDHA (United Nations Department of Humanitarian Affairs) (1992), *Internationally agreed glossary of basic terms related in disaster management*. Geneva.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) (2002), *Disaster Risk and Sustainable Development: understanding the links between development environment and natural hazard leading to disasters*, Background document for the World Summit on Sustainable Development (WSSD) No 5, <http://www.unisdr.org>.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) (2004), *Living with Risk, A global review of disaster reduction initiatives*. United Nations, Geneva.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) (2009), *Strengthening Climate Change Adaptation through Effective Disaster Risk Reduction*. ISDR Briefing Note 03. Geneva: UNISDR. Disponibile su http://www.unisdr.org/preventionweb/files/16861_ccbriefingnote3.pdf.

UNISDR (2017), *How to Make Cities More Resilient - A Handbook for Mayors and Local Government Leaders*. Geneva, Switzerland: United Nations Office for Disaster Risk Reduction, ISBN: 978-92-1-101496-9.

UNDP (United Nations Development Programme - Bureau for Crisis Prevention and Recovery) (2004). *Reducing Disaster Risk: a challenge for development. A global report*. Pelling M., Maskrey A., Ruiz P., Hall L. (Eds.). Printed by John S. Swift Co., USA.

UNDP (United Nations Development Programme) (2014), *Human Development Report, Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience*, New York, ISBN 978-92-1-126368-8.

UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization) (1979), *Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Expert Group Meeting*, Office of United Nations Disaster Relief Co-Ordinator (UNDRO), Palais des Nations, CH-1211 Geneva 10, Switzerland.

UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) <https://www.undrr.org/terminology/exposure>, ultimo accesso 18/06/2021.

Vocabolario Treccani, Edizione1997, Definizione di Rischio.

Weichselgartner J. (2001), Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited, In *Disaster Prevention and Mitigation*, Vol. 10, N. 2, 85-95.

White G.F. (1945), *Human adjustment to floods. A geographical approach to the flood problem in the United States*, The University of Chicago.

Wisner B., P.Blaikie, T.Cannon (2003), *At risk. Natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Second Edition, London: Routledge.

Sitografia

EM-DAT, The international Disaster Database. Centre for research on the Epidemiology of Disasters - CRED

<https://www.emdat.be/> [consultato in data: 5/05/2021]

Eurostat, 2019

<https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tps00003/default/table?lang=en> [consultato in data: 10/11/2021]

CAPITOLO 2 • L'estensione del concetto di rischio: dal mondo fisico all'universo sociale

La gravità della crisi non va determinata in funzione dell'intensità fisica degli agenti di impatto (insistendo sul problema di stabilirne dei criteri di misura adeguati), ma deve essere invece studiata rispetto al fatto che tali agenti potenzialmente distruttivi «non possono essere controllati direttamente e completamente dalla conoscenza sociale esistente» (Quarantelli e Wenger, 1987).

Il punto essenziale non è più solo quello di assumere con urgenza informazioni scientificamente adeguate sulla crisi, ma quello di verificare se poi queste informazioni circolano, vengono recepite correttamente, risultano coordinate tra di loro e non ambigue, e se quindi le risposte sociali che ne seguono sono appropriate. In altre parole, si parla di una significativa estensione del concetto di vulnerabilità dal mondo fisico all'universo sociale.

Ligi G, *Antropologia dei disastri* 2009, p. 37

2.1 Introduzione: Conoscenza e consenso, la matrice di Douglas e Wildavsky

In *Antropologia del disastro*, Gianluigi Ligi afferma l'urgenza di analizzare i rischi non già sul piano dell'informazione scientifica, ma di valutare se quell'informazione sia chiara, le risposte sociali appropriate e dunque vi sia un consenso sulla base di informazioni condivise. Non si può costruire il consenso solo su base 'cognitiva', stante l'universale credito tributato al «principio di indeterminazione» di W. Heisenberg (in Carrà, 1992 pp. 47-59) secondo il quale

«ogni osservazione di un fenomeno è collegata a una inevitabile perturbazione di esso e non è possibile misurare contemporaneamente tutte le diverse dimensioni di uno stesso fenomeno».

Comunque si voglia interpretare il valore filosofico del principio di indeterminazione di Heisenberg, esso resta una delle dimostrazioni più importanti del carattere riduttivo e selettivo dei nostri procedimenti di conoscenza: l'impossibilità di costruire il consenso su basi cognitive porta inevitabilmente a ricercare una base 'etica' e 'morale' come criterio per l'accettazione del rischio (Carrà, 1992 pp. 47-59).

Nel filone antropologico-sociale (v.Cap.1, par.1.1) la *Cultural Theory* di Douglas e Wildavsky considera l'aspetto 'morale' e 'politico' come il principale fattore di influenza dell'individuo nella società. Essa afferma che le strutture dell'organizzazione sociale suggeriscono all'individuo una chiave per l'interpretazione dei pericoli coerente con l'organizzazione stessa e volta a rafforzarla. La cultura rappresenta infatti una pre-codificazione collettiva dell'esperienza laddove la codificazione è il risultato di un dibattito pubblico in cui si stabiliscono i criteri e si distribuiscono le colpe. I valori culturali delle singole persone danno forma alla loro posizione circa il rischio e riescono a

spiegare più di ogni altro elemento (età, genere, reddito, educazione, etc.) la variazione di giudizio.

La selezione dei pericoli di cui avere considerazione per ridurli/evitarli/minimizzarli ha uno stretto legame col giudizio morale: se non si riconoscesse questo legame si tenderebbe a dare alla natura un valore politico, come si verificava nell'era pre-moderna, quando i 'mali' della natura erano segno di una punizione 'divina' per un comportamento individuale o collettivo illecito agli occhi della morale condivisa.

Oggi, che siamo in grado di osservare l'ambiente in maniera a-politicizzata (Giddens, 1990) grazie alla lente neutrale della scienza, esistono gli strumenti per riconoscere il 'male'; tuttavia l'interpretazione dei dati derivante dalla valutazione di un rischio cambia vertiginosamente in funzione della teoria che li sottende (Douglas e Wildavsky, 1982). È necessario conoscere le strade per ridimensionare la preoccupazione derivante da un pericolo e limitare le promesse della scienza all'effettivo settore delle possibilità politiche: l'accettabilità dei fatti, le risposte più adeguate, e la condivisione delle conclusioni.

Secondo Douglas e Wildavsky (1982), la conoscenza di un dato oggetto e le azioni di reazione a quella conoscenza, sono fuori sincro: il principale punto di disaccordo rimane la definizione stessa di rischio, ovvero cosa è rischioso, quanto rischioso sia e cosa fare in merito. Il problema della valutazione del rischio, secondo gli autori, è operazione ambiziosa: la classificazione dei pericoli, che è quello che la valutazione del rischio richiede, è un'operazione che si pone il tentativo, irrealizzabile, di mettere tutta l'esperienza e i valori umani dentro una scala di misura, ai fini di un calcolo matematico, e individuare quali tipi di rischi siano accettabili e quali non accettabili, per quali tipologie di persone, sulla base dell'attuale livello di conoscenza del rischio. Dal momento che non esiste una conoscenza completa sull'argomento, ed in presenza di disaccordo tra scienziati e laici, Douglas e Wildavsky affermano che il rischio va visto come il prodotto combinato della conoscenza del futuro e il consenso in merito alla prospettiva più desiderabile.

La matrice di Douglas e Wildavsky si compone di quattro quadranti. Il primo quadrante è composto da conoscenza certa e consenso completo: questa situazione può essere facilmente risolta producendo la migliore soluzione, in quanto il problema è di natura tecnica e la soluzione risiede esclusivamente nel calcolo (Tabella 2.1).

Tabella 2.1 | I quattro problemi del rischio Fonte: adattato da Douglas e Wildavsky, 1982

		Conoscenza	
		Certa	Incerta
Consenso	Completo	Problema: Tecnico Soluzione: Calcolo	Problema: Informazione Soluzione: Ricerca
	Contestato	Problema: (Dis) Accordo Soluzione: Coercizione o Discussione	Problema: Conoscenza e Consenso Soluzione: ?

Il secondo quadrante è caratterizzato da conoscenza certa ma consenso contestato: in questo caso il problema risiede nel disaccordo su come valutare le conseguenze; le possibili soluzioni possono ritrovarsi o in una discussione più prolungata e approfondita o nella coercizione.

Il terzo quadrante è caratterizzato da una situazione di consenso completo ostacolato da una conoscenza incerta: in questo caso la soluzione del problema consiste in una maggiore ricerca.

L'ultima situazione, il quarto quadrante è caratterizzato da conoscenza incerta e consenso contestato, ed è esattamente quella in cui si definisce il dilemma attuale della valutazione del rischio.

La situazione di rischio ha sempre a che fare con una decisione ovvero con l'atto di compiere una scelta fra più alternative: si è costretti a valutare l'opzione migliore sulla base di una conoscenza che sarà sempre intrinsecamente incompleta (Ligi G, 2009, p. 136), o sulla base dei benefici e vantaggi che si hanno nel vivere in una situazione rischiosa.

La sfera delle decisioni è il campo in cui si muovono i decisori politici, la cui azione in merito a misure di mitigazione del rischio avrà tanto più successo quanto più quell'indirizzo risulterà condiviso e largamente accettato. Dall'altro canto, l'atto di agire in misure individuali di mitigazione del rischio riguarda la sfera degli *stakeholders*, la cui propensione ad agire in azioni di carattere preventivo o di mitigazione del rischio dipende da parametri che sono altamente di natura psicologico-sociale: in larga parte questa propensione è legata alla percezione e conoscenza che gli individui hanno del rischio.

2.2 La percezione del rischio: approccio psicométrico e culturale

La percezione e la definizione culturale del rischio definiscono il rischio stesso ed insieme con la sua rappresentazione pubblica e politica rappresentano un tutt'uno.

(Beck, 1999 pg. 328 - Ed. 2013 di *La società del rischio*)

Il concetto di percezione è un prodotto cognitivo elaborato in due diverse fasi: la prima di analisi e la seconda di elaborazione cognitiva. Kanizsa sostiene che in ogni percezione c'è un primo momento, caratterizzato

dall'interpretazione di dati sensoriali e grezzi, e un secondo momento, realizzato da un atto di 'produzione' con cui la nostra coscienza costruisce le strutture di ordine superiore (Kanizsa, 1976). Da questo deriva che il mondo fisico che viviamo non è uno specchio diretto della realtà, ma il risultato di una serie di mediazioni.

Gli oggetti percettivi sono rappresentati da una serie di informazioni come grandezza, forma, colore, posizione nello spazio, proprietà cinetiche e da una serie di qualità; tali qualità corrispondono alla presenza di aspetti 'affettivi' nelle nostre percezioni (Crescimbeni, La Longa, 2015).

La percezione del rischio può essere intesa come il giudizio intuitivo che le persone hanno rispetto ad un determinato rischio (Slovic, 1987). Può essere anche definita come la valutazione soggettiva della probabilità che un evento pericoloso possa verificarsi e la misura di quanto gli individui siano preoccupati delle conseguenze (Sjöberg et al., 2004). Una spiegazione simile la forniscono Kahneman e Tversky (1979) i quali si concentrano sulla maniera in cui le persone trasformano soggettivamente delle informazioni oggettive per valutare alcune caratteristiche del pericolo come la probabilità di occorrenza e le possibili conseguenze di scelte rischiose. Febrianti (2010, pg.7) si riferisce alla percezione del rischio come *subjective opinions of people about the risk, its characteristics, and its severity including multiple factors: individual's knowledge of the objective risk, the individual's expectations about his or her own experience to the risk, and his or her ability to mitigate or cope with the adverse events if they occur*" (Febrianti, 2010).

Nello studio sulla percezione del rischio si possono identificare due principali filoni di ricerca:

- il paradigma psicometrico;
- la teoria culturale.

Il paradigma psicometrico indaga i mezzi con cui le persone prendono decisioni quantitative sul rischio percepito (Jasanoff, 1998; Slovic, 2000). È un metodo che usa questionari per derivare risposte riguardo alle caratteristiche del rischio (consapevolezza, preoccupazione e preparazione). Questo approccio adotta l'analisi fattoriale e lo *scaling* multidimensionale per generare rappresentazioni quantitative o 'mappe cognitive' della percezione del rischio (Fischhoff, Slovic, Lichtenstein, Read, & Combs, 1978; Slovic, Fischhoff, & Lichtenstein, 1980). Le risposte vengono testate attraverso analisi fattoriale per individuare i fattori di 'timore-paura'. Se i fattori di paura sono elevati, di conseguenza anche la percezione del rischio sarà elevata. Uno dei primi interpreti del paradigma psicometrico è Starr (Starr, 1969) che sviluppa un metodo per pesare i rischi derivanti da pericoli di natura tecnologica e i benefici associati a quella fonte di pericolo, nell'intento di rispondere alla domanda *'How safe is safe enough?'*.

Gli studi condotti sulla base del paradigma psicometrico hanno identificato le reazioni emozionali ai diversi elementi che caratterizzano un rischio. L'assunto principale è che le caratteristiche del rischio influenzino il modo in cui il rischio stesso viene codificato. Molte delle caratteristiche qualitative dei rischi (controllabilità, osservabilità, livello di rischio per le generazioni future etc.) sono correlate tra loro, e si ripetono per più pericoli differenti¹⁶. Un rischio giudicato volontario tende ad essere controllabile; i rischi i cui effetti avversi sono ritardati nel tempo tendono ad essere considerati come sconosciuti. L'ampio dominio delle caratteristiche qualitative dei rischi può dunque essere condensato in un set ridotto di caratteristiche o fattori¹⁷. Dall'incrocio delle risposte sui diversi aspetti dei pericoli, si ottiene la mappa cognitiva che riassume la rappresentazione mentale che gli individui hanno dei pericoli.

La mappa cognitiva sviluppata nel modello di Slovic (1987) consente di affermare come la concettualizzazione del rischio fatta dalle persone comuni, *lay people*, può essere molto più ricca di quella fornita dagli esperti e riflette problematiche che sono tipicamente omesse da questi ultimi. La percezione del rischio sviluppata dagli esperti è principalmente basata sul numero di perdite annuali, in termini di vite umane e di beni, causate dal pericolo. La conflittualità nelle strategie da adottare per la mitigazione delle conseguenze di un certo rischio è stato dimostrato che dipende dalla diversa e spesso divergente definizione del concetto di rischio (Fischhoff, Slovic, Lichtenstein, 1979; Douglas e Wildavsky, 1986).

La mappa dimostra che la percezione del rischio è connessa alla posizione del pericolo all'interno dello spazio cartesiano rappresentato in Figura 2.1. Quanto più alto è il punteggio sul Fattore 1 '*Dread risk*' quanto più alta è la sua percezione, e di conseguenza le persone pretendono l'applicazione di misure severe per la riduzione di quel rischio.

¹⁶ Il termine rischio e pericolo sono adottati in maniera intercambiabile. La mappa psicometrica (Slovic, 1987) è sviluppata sulla base delle caratteristiche qualitative dei pericoli, ma i fattori estratti, che sono la combinazione lineare delle caratteristiche qualitative dei pericoli, definiscono due tipologie di rischi. Questo indica che il rischio sia presentato come la sommatoria di più caratteristiche non essendo possibile una sua specificazione univoca, in quanto dipende sia dal contesto, che dal soggetto che effettua il giudizio.

¹⁷ L'analisi condotta da Slovic (1987) viene sviluppata tramite Analisi Fattoriale. Le caratteristiche che riguardano i differenti pericoli sono condensate in due fattori principali: Fattore 1, etichettato come '*Dread risks*' e il Fattore 2, etichettato come '*Unknown risks*'.

Il Fattore 1 è rappresentato principalmente dalle caratteristiche del rischio individuabili in: mancanza di controllo, potenziale catastrofico, conseguenze fatali, e distribuzione iniqua di rischi e benefici. Nel Fattore 1 il punteggio più alto è attribuito al rischio derivante dal pericolo causato dalle armi nucleari. Il Fattore 2 è rappresentato dai pericoli le cui caratteristiche sono giudicate sconosciute, inosservabili, nuove e che ritardano le loro manifestazioni. In questo fattore hanno un punteggio alto le tecnologie chimiche.

La mappa cognitiva è replicata tra gruppi di esperti e persone comuni.

1989). Questo approccio si concentra sull'importanza dell'aspetto culturale nel definire e formare i comportamenti umani: assume che differenti culture reagiscano ai rischi in maniera differente in quanto governati da valori e credi che sono controllati dal contesto o dalle relazioni sociali (Coles, Hirschboeck, & Fryberg, 2009).

Anche nei confronti della teoria culturale, vengono mosse delle critiche, derivanti dal raggruppare i comportamenti e le preferenze delle persone (unità sociali) in 4-5 classi che non rappresentano la complessità del comportamento umano (Olczyk, 2005). È inoltre debole l'approccio metodologico adottato anche a causa della scarsità di test empirici (Sjoberg, 2000). Comunque è considerato un punto di vista importante in quanto gli studi sociologici enfatizzano come le influenze sociali mitigano la percezione del rischio rispetto ai pericoli. Questa teoria spiega l'importante caratteristica del tessuto sociale nell'analisi del rischio, che contribuisce ad aumentare la comprensione della percezione del rischio e la sua tollerabilità (Olczyk, 2005, p.50).

Per dare senso all'incertezza dell'ambiente esterno, esiste una serie di strategie mentali, definite euristiche, che le persone adottano per elaborare e codificare le informazioni. Questi meccanismi conducono a strategie semplificate che non garantiscono la scelta migliore ma permettono di intraprendere decisioni soddisfacenti risparmiando tempo e sforzi. Da questo nasce l'esigenza di interpretare il livello di 'accettabilità' di un rischio che passa attraverso un processo di riconoscimento sociale, quello che Beck inquadra negli 'effetti latenti collaterali' (Beck, 1986, pp.25-26), che legittimano le realtà del pericolo:

«Com'è possibile impedire, minimizzare, drammatizzare, canalizzare i rischi e i pericoli prodotti sistematicamente come parte del processo di modernizzazione? E quando si presentano sotto forma di 'effetti latenti collaterali', come limitarli, diluirli distribuendoli in modo che non ostacolino il processo di modernizzazione né travalichino i confini di ciò che è considerato 'tollerabile' dal punto di vista ecologico, medico, psicologico e sociale?»

La società, attraverso un processo basato su prove ed errori, arriva ad un livello di bilanciamento (*essentially optimum*) tra rischi e benefici associati, stimando il livello di accettabilità di quel determinato rischio. Attraverso l'analisi rischi-benefici, gli individui sono disposti ad accettare rischi elevati quando ne deriva un alto livello di beneficio (Starr, 1969).

Il livello di 'accettabilità' del rischio dipende anche dalla localizzazione geografica della fonte di pericolo rispetto al recettore: molte persone che vivono nei pressi di un'attività pericolosa o di una fonte di pericolo accettano volontariamente questi rischi in cambio dei vantaggi diretti o indiretti che ne

derivano; in certe circostanze può subentrare anche una assuefazione al rischio dovuta alla sua conoscenza diretta. La possibilità di vivere a contatto diretto con una fonte di pericolo si giustifica, da una parte con la credenza che i benefici superino i rischi e, dall'altra con l'impossibilità di compiere scelte localizzative differenti.

Gli studi sulla percezione del rischio possono avere un valore importante nell'analisi del rischio in quanto aiutano a comprendere ed anticipare le risposte del pubblico al pericolo e contribuiscono a migliorare la comunicazione e l'informazione tra la gente comune, gli esperti e i decisori politici.

2.3 Il ruolo della percezione del rischio sulla sua mitigazione

La percezione del rischio gioca un ruolo importante sulla maniera in cui gli individui scelgono personalmente di mitigare il rischio.

La predisposizione a supportare comportamenti personali migliorativi o imposizioni normative varia in funzione della percezione del rischio che a sua volta dipende da altri fattori, quali l'aspettativa che un determinato pericolo possa verificarsi, che vi siano conseguenze negative per sé e per i propri familiari, del livello di conoscenza del pericolo. La propensione ad attivare comportamenti personali migliorativi dipende inoltre da una generica opinione ambientale.

Al di là della maniera in cui gli individui percepiscono il rischio, la probabilità di impegnarsi in comportamenti di riduzione del rischio è una funzione positiva dell'ammontare complessivo del rischio che viene percepito.

O'Connor et al. (O'Connor et al., 1999) definiscono la percezione del rischio un sotto-prodotto essenziale di una generica opinione ambientale¹⁹ e non una variabile comportamentale indipendente. Hanno dimostrato che la percezione del rischio è un importante fattore per descrivere la varianza spiegata delle intenzioni comportamentali²⁰ connesse al cambiamento climatico (Lepesteur et al., 2008; Sebton et al., 2005; McGee and Russell, 2003).

Molti studiosi hanno adottato altre variabili per comprendere il legame tra la percezione del rischio e la disponibilità ad agire con comportamenti migliorativi rispetto al problema ambientale, quali le caratteristiche demografiche (MacManus, 1996), il genere (Schahn and Holzer, 1990; Davidson and Freudenberg, 1996; Bord and O'Connor, 1997) e l'istruzione

¹⁹ Gli autori parlano di *general 'environmental belief'* riferendosi a orientamenti cognitivi a-specifici.

²⁰ O'Connor et al. non testano il reale comportamento quanto piuttosto il 'comportamento intenzionale', ovvero nello specifico le intenzioni di attivare comportamenti sostenibili nei confronti dell'ambiente e di supporto alle iniziative governative. È d'altronde dimostrato che c'è una forte correlazione tra le intenzioni comportamentali e i comportamenti reali (Ajzen e Fishbein, 1980).

(Berger, 1997). Nel modello proposto da O'Connor et al., la percezione dei rischi e la conoscenza del pericolo sono messi in relazione con determinate intenzioni comportamentali definite da ipotetiche istanze di voto su tematiche che riguardano il clima. La percezione del cambiamento climatico e la conoscenza delle sue cause sono le variabili predittive delle preferenze individuali e delle intenzioni comportamentali in merito alle azioni da attivare per fronteggiare il cambiamento climatico. I risultati dell'analisi condotta su 1225 adulti è che la percezione di specifici cambiamenti climatici e la generica opinione ambientale sono forti variabili predittive delle intenzioni comportamentali; inoltre le donne percepiscono maggiormente il rischio, e l'istruzione è la variabile demografica che ha il peso statisticamente maggiore.

Martin et al. (Martin et al., 2009) studiano i processi che spingono gli individui²¹ ad adottare strategie di riduzione del rischio per proteggere se stessi, i propri affetti e i propri beni. Attraverso un'indagine condotta per e-mail, rivolta a tre comunità esposte a rischio di incendi, esaminano alcune variabili, sinteticamente definite 'valutazione del rischio', quali:

- esperienza diretta con eventi pericolosi;
- conoscenza individuale delle fonti di pericolo;
- percezione individuale della competenza nell'organizzare ed eseguire azioni necessarie a gestire situazione di rischio (*self-efficacy*, Bandura, 1977);
- responsabilità individuale nella protezione dei propri beni e della propria famiglia.

nel loro impatto sui comportamenti di mitigazione del rischio²². I risultati dimostrano la stretta relazione intercorrente tra la 'valutazione del rischio' e i 'comportamenti di mitigazione del rischio', espressa dagli alti valori del *t-value*. Con un secondo modello, le variabili sono valutate in relazione alla 'percezione del rischio', intesa come variabile mediatrice (Barron e Kenny, 1986) tra le variabili di 'valutazione del rischio' e i 'comportamenti di riduzione e mitigazione del rischio': il test di *Sobel* consente di verificare la significatività dell'effetto di mediazione della variabile di 'percezione del rischio', particolarmente condizionata dalla conoscenza di quello che i rispondenti credono di sapere in merito alla fonte di pericolo e il loro senso di responsabilità diretto a proteggere se stessi, la propria famiglia e i propri beni. In questo processo è implicita un'analisi costi-benefici che influenza il

²¹ Gli autori si riferiscono all'individuo, sebbene riconoscano l'importanza dell'agire collettivo rispetto ad un nemico comune. Alcune ricerche hanno messo in evidenza il ruolo fondamentale della comunità nei processi di mitigazione del rischio (Cohn et al., 2008; Sturtevant and Jakes, 2008; Kumagai et al., 2004; McGee and Russell, 2003).

²² Viene effettuata una *regressione multipla* inserendo la 'valutazione del rischio' come variabile indipendente e come variabile dipendente le strategie di mitigazione del rischio. La significatività delle variabili è espressa da valori molto alti del *t-value*.

processo di *decision-making* (Mileti and Sorenson, 1987), che tuttavia va effettuata qualora l'obiettivo sia quello di verificare le intenzioni comportamentali (O'Connor et al.,1999). In questo caso gli autori si riferiscono ai reali comportamenti sviluppati per reagire alla minaccia²³.

Quando gli individui hanno un alto livello di rischio percepito, sono più propensi ad attivare comportamenti migliorativi.

Più complesso del comprendere cosa effettivamente influenzi la percezione individuale del rischio è come questa percezione si traduca in comportamenti da adottare. La comprensione di questo aspetto può servire nella scelta delle strategie comunicative più efficaci a trasmettere le informazioni sui rischi e quindi facilitare i risultati desiderati. Certamente, educare la popolazione (influenzando la conoscenza soggettiva) sul rischio associato ad uno specifico pericolo avrà a sua volta un'influenza sulla percezione della vulnerabilità e della severità di questo rischio, incoraggiando le persone a proteggere se stesse, la propria casa e di conseguenza la comunità in cui vivono (Bandura, 1977).

2.4 Gli studi sulla percezione del rischio sismico in Italia

Gli studi sulla percezione del rischio in Italia sono piuttosto rari, ed ancora più raramente i risultati sono presi in considerazione per dare supporto alle analisi condotte in ambito ingegneristico, per migliorare la comunicazione tra esperti e cittadini, come strumenti e pratiche da introdurre nei processi di pianificazione urbana e territoriale.

Uno dei problemi principali dipende dalla scarsa integrazione esistente tra le scienze sociali e le scienze che tradizionalmente si occupano di terremoti (fisica, sismologia, geologia, ingegneria, etc.).

Alcuni studi sulla percezione del rischio risentono del fatto che sono stati effettuati subito dopo il verificarsi dell'evento sismico, per cui buona parte del giudizio sul rischio è influenzato dai fattori di cui si è discusso (v. Cap. 2, par. 2.2), che rappresentano le caratteristiche qualitative del pericolo: la distanza temporale, le immediate conseguenze catastrofiche in termine di vittime, sfollati, edifici distrutti, etc.

Il gruppo di Marancioni (Marancioni et al., 2012) ad esempio si concentra su un campione di popolazione che è stato colpito dal terremoto de L'Aquila nella notte del 6 Aprile del 2009, con una magnitudo di 6.3, all'apice di una sequenza sismica durata quattro mesi. Lo studio rivela che nonostante la storia sismica della regione, i residenti de L'Aquila avessero un basso livello di percezione del rischio ed una fiducia ingiustificata sulla sicurezza sismica delle proprie case. Questi elementi – bassa percezione del rischio sismico e

²³ La minaccia in questo caso è rappresentata dagli incendi: '*wildland-urban interface*' (WUI) nell'Ovest degli Stati Uniti.

ignoranza delle reali condizioni strutturali degli edifici in cui risiedevano – hanno inibito la propensione individuale e collettiva a sviluppare piani di emergenza.

Partendo dal territorio, inteso come il risultato dell'interazione reciproca tra uomo e spazio fisico, De Pascale et al. parlano di 'Geoetica' (De Pascale et al., 2013) intesa come scienza che rappresenta la sintesi ideale tra conoscenza umanistica e scientifica in relazione al tema dei disastri. Il rischio è considerato nella sua natura territoriale come un fenomeno complesso che coinvolge tutti gli aspetti della relazioni tra ambiente e uomo. La rottura dell'equilibrio dinamico tra popolazione, ambiente e risorse è la causa sempre crescente dei disastri. La gestione integrata del rischio, incentrata sulla sintesi dei modelli desunti dalle scienze sociali e dalle scienze ingegneristiche, serve a definire uno strumento che consenta una più efficace gestione e pianificazione del territorio.

I risultati dell'analisi sulla percezione del rischio prodotti durante e dopo la sequenza sismica che ha colpito il Pollino, in Calabria e Basilicata, dal 2010 al 2012, condotti nelle scuole degli oltre cento comuni interessati dalla sequenza sismica, hanno evidenziato un livello medio di sensibilità a fronte dell'elevata pericolosità sismica delle zone interessate dalla sequenza (De Pascale et al., 2013). I questionari somministrati agli studenti delle scuole primarie e secondarie mirano ad individuare il livello di conoscenza realmente posseduta, connessa all'età, all'esperienza, all'area di origine dell'intervistato, e alle percezioni che questi dimostravano di avere in relazione al fenomeno sismico. Lo scopo dello studio è quello di costruire uno strumento informativo utile e più adatto alle necessità di tutti i cittadini rispetto ai pericoli naturali come i terremoti, al fine di rafforzare le capacità adattive del territorio da una parte e sviluppare delle politiche mirate di pianificazione territoriale dall'altra.

Un'importante indagine sulla percezione del rischio sismico è stata condotta in ambito scolastico dall'Associazione Cittadinanzattiva (2011) a partire dal 2009, con l'obiettivo di promuovere la diffusione della cultura della sicurezza fin dalle fasce più giovani della popolazione. Lo strumento, adottato nell'ambito della collaborazione tra Cittadinanzattiva e Protezione Civile, consiste in un questionario somministrato agli studenti e alle loro famiglie per fare emergere il livello di conoscenza del terremoto e la percezione che si ha di tale rischio. La III Indagine Conoscenza e percezione del rischio sismico contiene i risultati relativi a 1.211 questionari compilati dagli studenti delle scuole primarie, 1.160 questionari degli studenti delle scuole secondarie di primo e secondo grado e 1.477 questionari compilati dai genitori degli studenti stessi. A livello nazionale i risultati hanno indicato un basso livello di conoscenza del terremoto e un basso livello di conoscenza dei comportamenti da adottare in caso di scossa sismica. Inoltre, in una sezione

dedicata al post sisma de L'Aquila del 2009, l'indagine, pur rilevando un miglioramento sul versante conoscitivo del fenomeno terremoto, ha indicato che sul fronte del 'fare' l'evento aquilano non è riuscito ad innescare un cambiamento profondo nella popolazione; tanto che le persone hanno dichiarato di non aver fatto nessuna azione per migliorare la propria sicurezza.

Un primo tentativo di combinare le scienze umane con quelle ingegneristiche deriva dal lavoro del gruppo di Crescimbene (Crescimbene e La Longa, 2015), in cui sono messe a sistema le indagini sulla percezione del rischio e il livello di pericolosità sismica espresso dalla comunità scientifica che si occupa di terremoti. Per realizzare il questionario è stato utilizzato il metodo del differenziale semantico²⁴ (Osgood, Suci, Tannenbaum, 1957), che nasce come metodo per descrivere due concetti o termini in uno spazio semantico (Crescimbene et al., 2013). Associata al differenziale semantico è l'adozione di una scala Likert (Likert, 1932) che consente di ottenere un punteggio del fenomeno che si sta indagando. In questo modo è possibile ricavare diversi indicatori e fattori che si riferiscono a: pericolosità, esposizione, vulnerabilità, istituzioni e comunità, fenomeno terremoto. I dati raccolti evidenziano che la percezione dei cittadini sottostima la pericolosità. I valori che si riferiscono agli altri fattori di vulnerabilità, esposizione, comunità ed istituzioni riportano valori ancora più bassi.

I valori così raccolti sulla percezione del rischio sono messi a confronto con le indicazioni date dalla comunità scientifica in merito alla pericolosità sismica e recepite dalla normativa antisismica italiana (v. Cap.1, par. 5), che divide il territorio in zone sismiche (la pericolosità espressa dalle quattro zone sismiche individuate in Italia, MPS04/OPCM 3274 e Stucchi et al. 2004). Per effettuare il confronto viene assunto l'appropriato riferimento di percezione della pericolosità per le diverse zone sismiche. In questa maniera gli autori hanno potuto confrontare la percezione della pericolosità con quella definita

²⁴ È un tipo di scala di valutazione semantica che misura il significato connotativo di concetti come termini, oggetti, eventi, attività, idee, etc. Cattura le componenti affettive e cognitive delle attribuzioni degli intervistati a concetti selezionati su un livello multidimensionale. A differenza di altre scale di valutazione, la SD, *Semantic differential*, è universalmente applicabile: misura associazioni, motivazioni, emozioni, atteggiamenti, ecc., per quasi tutti i concetti.

I questionari SD originali contenevano un elenco di scale a sette punti (-3; 0; +3) tra aggettivi bipolari e contrastanti (ad esempio, buono-cattivo, chiaro-scuro, sociale-asociale) e un punto zero neutro. Vengono etichettati solo i poli delle scale SD e si presume che gli intervalli delle scale siano di uguale distanza. Lo scopo principale dell'SD è comprendere il significato connotativo dei concetti, misurando le somiglianze connotative e le differenze all'interno e tra le valutazioni degli intervistati. L'analisi fattoriale è la tecnica adottata per analizzare la vicinanza e la distanza tra le valutazioni SD e per determinare le diverse dimensioni con cui sono rappresentate nello spazio semantico. Nei profili di polarità, la distribuzione dei modelli di risposta, l'etero e l'omogeneità delle valutazioni degli intervistati, è illustrata graficamente e fornisce la base per ulteriori analisi basate sulla correlazione.

Oggi, la SD è una tecnica di scaling standard nelle scienze sociali e comportamentali. È molto utilizzata in psicologia, ma anche in linguistica, sociologia, ricerche di mercato e altre discipline orientate empiricamente (Podler e Eder, 2015).

dalla normativa. Per ciascuna zona sismica individuata dalla normativa (zona 1, 2, 3, 4) viene individuato il corrispettivo valore di percezione sviluppato secondo il metodo del differenziale semantico. Per cui lo zero indica un'appropriata percezione di pericolosità sismica rispetto alla zona di riferimento, i valori negativi sottostimano la percezione della pericolosità della zona e i valori positivi indicano una sovrastima della percezione della pericolosità sismica. In particolare nella zona sismica 1, ovvero la zona per cui la normativa antisismica richiede i parametri più elevati di sicurezza, il 75% degli intervistati non ha un'adeguata percezione della pericolosità. I risultati evidenziano un'inadeguata percezione del rischio sismico in Italia ed in particolare il dato diventa ancora più evidente quando si confrontano i risultati della percezione del rischio con quelli relativi alla pericolosità sismica dei luoghi dove si vive.

2.5 Indicazioni emergenti. Verso una sintesi dei due approcci

La ricerche della *Cultural Theory* e dell'Approccio psicometrico (v. Cap.1, par.1.1) hanno in comune il fatto di aver definito il rischio come qualcosa di non puramente oggettivo, ma come costituito collettivamente, attraverso la trasmissione del *background* culturale, o individualmente attraverso processi psicologico-cognitivi.

La dicotomia rischio-oggettivo e rischio-percepito sottende una sostanziale differenza. Il rischio-oggettivo, come si è detto, studiato nelle scienze ingegneristiche, si riferisce alla probabilità, calcolata dagli studiosi, che un evento pericoloso avvenga in un determinato luogo ed in un certo intervallo di tempo, dove vivono persone in edifici soggetti ad una determinata vulnerabilità. Il rischio-percepito o soggettivo, studiato nelle scienze sociali, si riferisce a come questo viene percepito dagli individui. È evidente, dunque, che considerare il rischio come la combinazione di pericolosità, esposizione e vulnerabilità significherebbe non considerare gli aspetti emotivi suscitati da un determinato rischio nella collettività.

L'analisi del rischio rappresenta un complesso e multidisciplinare ambito di indagine entro cui si scontra la limitatezza dei singoli contributi disciplinari. La cultura del rischio, infatti, si può scindere in un approccio 'hard', tipicamente attribuito alle scienze 'esatte' di natura quantitativa, basato su modelli matematici e analisi probabilistiche e in un approccio 'soft' basato su indagini di tipo qualitativo. Ogni approccio cattura un aspetto differente e parziale della complessità e multidimensionalità del rischio (Jasanoff, 1993). Una corretta valutazione del rischio basata su fondamenti scientifici è condizione necessaria per guidare le decisioni politiche, ma non sempre sufficiente.

Nell'analisi del rischio si fa sempre più strada la necessità di correlare le due facce dell'analisi. Il corretto bilanciamento tra la componente scientifica e

'oggettiva' del rischio e la componente soggettiva, valoriale, etica è probabilmente una delle sfide principali che i governi democratici contemporanei e i loro sistemi regolatori devono affrontare (Pidgeon, 1998). Alcune importanti intuizioni nelle scienze sociali sulla percezione del rischio trovano diretta applicazione nel dominio della gestione dei rischi e nelle strategie di pianificazione, evidenziando come essa assuma un ruolo importante nella regolamentazione e gestione del rischio (Pidgeon, 1998). Dowling e Staelin (1994) definiscono il rischio percepito come una valutazione parziale e soggettiva del rischio oggettivo ed evidenziano in molti casi una netta differenza tra rischio soggettivo percepito e valutazione oggettiva del rischio. Tuttavia affermano che è generalmente il rischio percepito, più del rischio oggettivo, a motivare l'individuo ad impegnarsi in particolari modelli comportamentali, migliorativi rispetto alla minaccia di un pericolo. Come indicato da Slovic (1987) la percezione del rischio dipende da numerosi fattori: la controllabilità, il potenziale catastrofico e il grado di incertezza che ne deriva. Questa percezione gioca un ruolo importante nella maniera in cui gli individui scelgono di mitigarlo. Se per esempio gli individui stimano un rischio basso sarà meno probabile che agiranno per ridurre la propria esposizione (McCaffrey, 2004).

La percezione del rischio è un elemento critico nel contesto socio-politico all'interno del quale i *policy-makers* operano, in quanto può limitare l'azione politico-economica e sociale di riduzione delle conseguenze derivanti dall'impatto di eventi pericolosi. Il sostegno pubblico alle politiche urbane, o all'opposto la resistenza rispetto ai regimi normativi, adottati come misure prescrittive per mitigare le conseguenze di eventi pericolosi (norme, codici, vincoli), l'accettazione di un determinato livello di rischio, la disponibilità a sviluppare comportamenti migliorativi idonei alla prevenzione, sono ampiamente influenzati dalla percezione pubblica dei rischi (Armaş, 2006, Leiserowitz, 2006). Alcuni ricercatori hanno dimostrato che le misure di mitigazione, sia strutturali che non strutturali, se applicate prima di indagare sulla percezione pubblica del rischio, possono essere respinte dalla società (Nascimento, Guimaraes, Mingoti, Moura, & Faleiro, 2008). Questo comportamento è comprensibile in quanto le persone spesso si oppongono a ciò che non conoscono né comprendono e ritengono che tali misure non siano necessarie. Queste convinzioni possono essere modificate quando viene dimostrata la contingenza tra azioni di mitigazione e risultati positivi di un'azione (Paton et al., 2006).

La percezione del rischio sismico è fortemente legata a variabili demografiche (genere, età, istruzione), da fattori socio-economici, socio-culturali e psicologici. In parte è dipendente da esperienze precedenti di eventi sismici che possono modificare la percezione individuale del rischio e i comportamenti che riguardano la preparazione all'evento. Comprendere

come il rischio sia percepito dal pubblico è un importante *step* per valutare la vulnerabilità di una comunità (Armaş, 2006; Armaş & Avram, 2008).

Gli studi nel settore della percezione del rischio sono ancora embrionali, soprattutto del suo effettivo ruolo all'interno dei processi decisionali e di *policy* urbane. Secondo Pidgeon (1998) l'adozione della dimensione percettiva del rischio nelle politiche urbane ha due implicazioni rilevanti di natura normativa ed epistemologica. Nel primo caso, incorporare la percezione del rischio nelle politiche urbane accresce la partecipazione pubblica sulle decisioni riguardanti la sicurezza individuale e collettiva, implicando una maggiore propensione a pagare per la propria sicurezza rispetto a pericoli che evocano sentimenti di paura (Savage, 1993). Quest'ultimo atteggiamento, che potrebbe essere definito propensione al cambiamento, ha inoltre effetti positivi sull'intera gestione del rischio (*risk management*) in particolar modo in comunità dall'alto livello di coesione. Infatti quando le persone osservano un comportamento di 'aggiustamento' preventivo da parte di vicini o altri membri della comunità cui appartengono tendono a emularli (Mileti, 1999). La partecipazione pubblica nei processi di *decision making* arricchisce, d'altronde, l'analisi del rischio formalmente intesa, aggiunge conoscenza nel processo complessivo di analisi e valutazione del rischio, e fornisce una guida sui criteri di tollerabilità del rischio da adottare nelle *policy*. Se correttamente compresa, questa conoscenza può essere cruciale nello sviluppo di misure di mitigazione ed efficaci misure di prevenzione a livello locale e nazionale.

L'obiettivo dell'analisi del rischio tradizionalmente intesa consiste nell'orientare efficaci interventi di mitigazione e adattamento dei sistemi urbani. Si tratta di adottare strategie urbane di riduzione dei fattori di pericolosità individuati attraverso un'analisi delle sue componenti fisico-quantitative, sviluppando misure adeguate per ridurre al minimo i danni che gli impatti sismici possono provocare (Guidoboni, 2018) a causa del mancato funzionamento del sistema e della sua incapacità di risposta.

Tra le strategie più comunemente adottate per la riduzione degli effetti di un potenziale evento pericoloso, dato il calcolo effettuato dagli esperti in cui il danno atteso è funzione del numero delle vittime potenziali, si annoverano la riduzione dell'esposizione al pericolo sismico attraverso la riduzione della densità residenziale/funzionale di una città, la riduzione della vulnerabilità sismica fisico/funzionale delle componenti che vi insistono.

Questa impostazione impone un assunto: gli eventi sismici non possono essere controllati ma le conseguenze rispetto agli eventi possono essere influenzati efficacemente (Paton et al., 2006).

La percezione del rischio ridisegna una nuova dimensione nell'analisi e nelle strategie di riduzione del rischio sismico: in questo secondo caso, essa sviluppa una condizione di azione individuale dettata dal livello di percezione acquisita che influenza i comportamenti di propensione al cambiamento

verso strategie di 'aggiustamento' delle condizioni di vulnerabilità dei propri beni e di miglioramento della sicurezza dei propri cari. Le scelte individuali in questa direzione determinano conseguentemente un beneficio collettivo. Questo suggerisce che la percezione del rischio sottende una dimensione partecipativa, che nasce da esigenze (anche egoistiche) di autotutelarsi, a fronte di una acquisita consapevolezza e conoscenza degli ecosistemi a rischio e della responsabilità dell'azione collettiva.

L'inserimento dei fattori percettivi nella tradizionale rappresentazione del rischio significa considerare la valutazione del rischio da parte delle persone comuni. La mancata coincidenza tra la valutazione del rischio 'esperta' e 'laica' rende più difficile raggiungere decisioni coerenti e condivise sulle strategie da adottare per ridurre e mitigare il rischio, nei processi di pianificazione ambientale.

Riferimenti bibliografici

Armaş I. (2006), Earthquake risk perception in Bucharest, Romania, In *Risk Analysis*, 26(5), 1223–1234.

<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2006.00810.x>

Armaş I., E. Avram (2008), Patterns and trends in the perception of seismic risk. Case study: Bucharest Municipality/Romania, In *Natural Hazards*, 44(1), 147–161. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9147>.

Bandura A. (1977), Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change, In *Psychological Review* 84 (2), pp.191–215.

Barron R.M., D.A. Kenny (1986), The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic and statistical considerations, In *Journal of Personality and Social Psychology* 51, pp.1173–1182.

Beck U. (1986), *La società del rischio, Verso una seconda modernità*, (a cura di) W. Privitera, Carocci Editore, 2013.

Berger I. (1997), The Demographics of Recycling and the Structure of Environmental Behavior, In *Environment and Behavior*, 29(4), pp.515–531.

Bord R., R.O'Connor (1997), The Gender Gap in Environmental Attitudes: The Case of Perceived Vulnerability to Risk, In *Social Science Quarterly*, 78(4), pp. 830–840.

Carrà E. (1992), "Rischio": Analisi di un concetto sociologico, In *Studi di Sociologia*, Anno 30, Fasc. 1 pp. 47-59, Pubblicazioni dell'Università Cattolica del Sacro Cuore.

Cittadinanzattiva e Dipartimento della Protezione Civile (2011), Quando la terra trema, Conoscenza e percezione del rischio sismico. III Indagine rivolta agli studenti delle scuole secondarie e alle loro famiglie, Rapporto 2011.

Cohn P.J., D.R. Williams, M.S. Carroll (2008), Wildland-urban interface residents' views on risk and attribution, In Martin W.E., C. Raish, B. Kent (Eds.), *Wildfire Risk: Human Perceptions and Management Implications*, Resources for the Future Press, Washington, DC, pp. 23–43.

Crescimbene M., F. La Longa, R. Camassi, N.A. Pino (2013), D2.6 – Report on Risk Perception, DPC-INGV-S2 *Project Constraining observations into Seismic Hazard*.

Crescimbene M., La Longa F., (2015) Terremoti: tra percezione e realtà, In A. Amato, A. Cerase, F. Galadini (a cura di) *Terremoti, Comunicazione, Diritto. Riflessioni sul processo alla "Commissione Grandi Rischi"*, Franco Angeli Editore, pp.227-244, ISBN 978-88-917-1271-4.

Davidson D., W. Freudenburg (1996), Gender and Environmental Risk Concerns: A Review and Analysis of Available Research, In *Environment and Behavior*, 28, pp. 302–339.

De Pascale F., M. Bernardo, F. Muto (2013), Geoethics and perception of seismic risk: the case of Pollino, Calabria, Southern Italy and the comparison with past societies, In *Geophysical Research Abstracts* Vol. 15.

Douglas M., A. Wildavsky (1982), *Risk and Culture*, University of California Press, Berkeley, CA.

Dowling G., R.Staelin (1994), A Model of Perceived Risk and Intended Risk-Handling Activity, In *Journal of Consumer Research* 21(1), pgg. 119-134.

Febrianti F. (2010), Flood Risk Perception and Coping Mechanism of Local Community: A Case Study in Part of Surakarta City, Central Java Province, Indonesia. Enschede ITC. Retrieved from http://www.itc.nl/library/papers_2010/msc/aes/febrianti.pdf

Fischhoff B., P. Slovic, S. Lichtenstein, S. Read, B. Combs (1978), How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits, In *Policy Science* 9, pp. 127-152.

Fischhoff B., P.Slovic, S. Lichtenstein (1979), Weighing the Risks: Risks: Benefits which Risks are Acceptable? In *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 21:4, pp.17-38.

Giddens A. (1990), *The Consequences of Modernity*, Polity Press, Cambridge.

Guidoboni E. (2018), I disastri sismici in Italia: una riflessione sulle risposte sociali e culturali nel lungo periodo, In Fiore A., V. Ottaviani (Eds.) *Rischio sismico in Italia: analisi e prospettive per una prevenzione efficace in un Paese fragile*, *Geologia dell'Ambiente*, Supplemento al n. 1/2018, pgg. 11-18.

Jasanoff S. (1993), Bridging the Two Cultures of Risk Analysis, In A.Boin (Ed.) *Crisis Management* (2008), SAGE Publications Ltd, London.

Kahneman D., A. Tversky (1979), Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk, In *Econometrica* Vol. 47, No. 2, pp. 263-292.

Kahneman D., P. Slovic, A. Tversky (1982) (Eds.), *Judgment under Uncertainty. Heuristics and Biases*, Cambridge University Press, New York.

Kanizsa G. (1976), Vedere e pensare, In Siri G. (ed.), *Problemi epistemologici della psicologia*, pp. 88-97, Milano: Pubblicazione dell'Università Cattolica del Sacro Cuore.

Kumagai Y., M.S.Carroll, P. Cohn (2004), Coping with interface wildfire as a human event: lessons from the disaster/hazards literature, In *Journal of Forestry*, 102(6), pp. 28-32.

Leiserowitz A. (2006), Climate change risk perception and policy. Preferences: the role of affect, imagery, and values, In *Climatic Change* 77: 45–72, DOI: 10.1007/s10584-006-9059-9.

Lepesteur M., A. Wegner, S.A. Moore, A. McComb, (2008), Importance of public information and perception for managing recreational activities in the Peel-Harvey estuary, Western Australia, In *Journal of Environmental Management* 87 (3), pp. 389–395.

Ligi G. (2009), *Antropologia dei disastri*, Editori Laterza, Bari.

Likert R. (1932), A technique for the measurement of attitudes, In *Archives of Psychology*, 22 140, 55.

MacManus S. A. (1996), *Young v. Old: Generational Combat in the 21st Century*, Boulder, CO: Westview Press.

Marincioni F., F. Appiotti, M. Ferretti, C. Antinori, P. Melonaro, A. Pusceddu, R. Oreficini-Rosi (2012), Perception and Communication of Seismic Risk: The 6 April 2009 L'Aquila Earthquake Case Study, In *Earthquake Spectra*, Volume 28, No. 1, pages 159–183, <https://doi.org/10.1193/1.3672928>.

Martin W.E., I. Martin, B. Kent B (2009), The role of risk perceptions in the risk mitigation process: The case of wildfire in high risk communities, In *Journal of Environmental Management* 91, pp. 489–498.

McCaffrey S. (2004), Thinking of wildfire as a natural hazard, In *Society & Natural Resources* 17, pgg. 509–516.

McGee T.K., S. Russell (2003), It's just a natural way of life. An investigation of wildfire preparedness in rural Australia, In *Environmental Hazards* 5, pp.1–12.

Mileti D. (1999), *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*, Washington, D.C.: Joseph Henry Press.

Mileti D.S., J.H. Sorenson (1987), Natural hazards and precautionary behaviour, In Weinstein N. (Ed.), *Taking Care: Understanding and Encouraging Self protective Behavior*. Cambridge University Press, pp. 189–207.

Nascimento N., E. Guimaraes, S. Mingoti, N. Moura, R. Faleiro (2008). Assessing public perception of flood risk and flood control measure in urban areas, *2nd SWITCH Scientific Meeting, Tel-Aviv*. Retrieved from http://switchurbanwater.lboro.ac.uk/outputs/pdfs/CBEL_PAP_Assessing_public_perception_of_flood_risk_and_controls.pdf

O'Connor R., R. J. Bord, A. Fisher (1999), Risk Perceptions, General Environmental Beliefs, and Willingness to Address Climate Change, In *Risk Analysis*, Vol. 19, No. 3, pp.461-471.

Osgood C. E., G. Suci, P. Tannenbaum (1957), The measurement of meaning, In *Urbana*, IL: University of Illinois Press.

Paton D., J. McClure, P. Bürgelt (2006), Natural hazard resilience: The role of individual and household preparedness, In D. Paton., D. Johnston (Eds.), *Disaster Resilience: An Integrated Approach*, Charles C Thomas Pub., Springfield, pgg. 105-127.

Pidgeon N. (1998), Risk assessment, risk values and the social science programme: why we do need risk perception research, In *Reliability Engineering and System Safety* 59, pgg. 5-15

Podler A., A. Eder (2015), Semantic Differential, in *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*, pg. 563-571, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.03231-1>.

Quarantelli E.L., Wenger D. (1987), «Disastro», In De Marchi F., Ellena A. Cattarinussi B., *Nuovo dizionario di sociologia*, p. 675, Cinisello Balsamo, Edizioni Paoline.

Savage, I. (1993), An empirical investigation into the effect of psychological perceptions on the willingness-to-pay to reduce risk, In *Journal of Risk and Uncertainty*, 6, 75-90.

Schahn J., E. Holzer (1990), Studies of Individual Environmental Concern: The Role of Knowledge, Gender, and Background Variables, In *Environment and Behavior* 22(6), pp. 767–786.

Setbon M., J. Raude, C. Fischler, A. Flauhault (2005), Risk perception of the 'Mad Cow Disease' in France: determinants and consequences, In *Risk Analysis* 25 (4).

Sjöberg L., B.-E. Moen, T. Rundmo, (2004), Explaining risk perception. An evaluation of the psychometric paradigm in risk perception research. In *Rotunde publikasjoner* Vol. 84.

Slovic P. (1987), Perception of Risk, In *Science*, Vol 236, Issue 4799, pp. 280-285.

Slovic P., B. Fischhoff, S. Lichtenstein (1980), Facts and fears: Understanding perceived risk. In R. Schwing and W.Á. Albers, Jr. (Eds.), *Societal risk assessment: How safe is safe enough?* New York: Plenum.

Slovic P., B. Fischhoff, S. Lichtenstein (1984), Behavioral decision theory perspectives on risk and safety, In *Acta Psychologica* 56, pp. 183-203.

Starr C. (1969), Social Benefit versus Technological Risk: What is our society willing to pay for safety? In *Science* 19, Vol 165, Issue 3899, pp. 1232-1238.

Stucchi M., C. Meletti, V. Montaldo, A. Akinci, E. Faccioli, P. Gasperini, L. Malagnini, G. Valensise (2004), *Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04* [Data set], Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Sturtevant V., P. Jakes (2008), Collaborative planning to reduce risk, In Martin W.E., Raish C., Kent B. (Eds.), *Wildfire Risk: Human Perceptions and Management Implications*, Resource for the Future Press, Washington, DC, pp. 44–63.

CAPITOLO 3 • L'analisi della vulnerabilità²⁵

3.1 Introduzione

La vulnerabilità urbana rappresenta uno dei concetti chiave all'interno del processo di pianificazione territoriale antisismica (Imbesi et al., 1981; UN-DRO, 1979; Caldaretti, Fabietti, Riggio, 1987; Fera, Riggio, 1990; Fera, 1991). Emerge nell'ambito del rischio sismico una lunga storia nell'utilizzo del concetto di vulnerabilità, associato principalmente alle caratteristiche di vulnerabilità fisico-strutturale degli edifici, ed espressa nella forma delle curve di fragilità.

La vulnerabilità è, probabilmente, uno degli aspetti più complessi del rischio, non soltanto in termini di valutazione ma anche in termini concettuali. Concentrarsi sulla vulnerabilità come mezzo per approcciare, descrivere e misurare gli effetti di un evento calamitoso sposta l'analisi dal pericolo verso un più ampio *framework* concettuale, che considera le cause sottostanti e meno superficiali degli effetti di questi eventi (Menoni et al., 2012).

Come si è già accennato (v. Cap.1, par. 1.4) la vulnerabilità può essere di natura fisica, funzionale, economico-sociale. Essendo la città interazione dinamica delle strutture sociali e dei loro reciproci rapporti con le dinamiche delle corrispettive strutture spaziali (Astengo, 1966), non è possibile separare nella pianificazione urbanistica e territoriale gli aspetti fisici o spaziali, che riguardano appunto la disciplina urbanistica da quelli cosiddetti a-spaziali, ovvero di natura economico-sociale, in quanto una città è fatta dal territorio che essa occupa e dalle relazioni sociali che in essa si svolgono (Fera, 1991). L'ampia accezione del concetto di vulnerabilità a scala territoriale ed urbana richiede, dunque, nuove metodologie di misurazione oltre che di valutazione della stessa. Le procedure di valutazione quantitativa e qualitativa della vulnerabilità prevedono l'adozione di *variabili di vulnerabilità* o *indicatori di vulnerabilità*, attraverso i quali individuare le caratteristiche e le componenti di cui è composto il sistema urbano che aumentano o diminuiscono la vulnerabilità (Fera, 1991).

Questo tipo di strumenti ha guadagnato rilevanza nell'arena politica. Il *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: 2015-2030*, adottato a Sendai, Giappone, il 18 marzo 2015, in occasione della Terza Conferenza Mondiale delle Nazioni Unite, sottolinea che l'impatto dei disastri sul sistema sociale, economico e ambientale deve essere esaminato attraverso l'utilizzo di indicatori e indici per valutare il tasso di vulnerabilità.

²⁵ Alcuni estratti del presente capitolo sono contenuti nella pubblicazione: Fischer E. (2021), Vulnerabilità sociale: indici, indicatori e metodologie a confronto, in Brunetta G., Caldarice O., Russo M., Sargolini M., (a cura di), *Resilienza nel governo del territorio. Atti della XIII Conferenza Nazionale SIU, Downscaling Rightsizing. Contrazione demografica e riorganizzazione spaziale*, Torino, 17-18 giugno 2021, vol.4, Planum Publisher e Società Italiana degli Urbanisti, Roma-Milano, 2021.

L'*European Environment Agency (The European Floods Directive (2007/60/EC))* richiede agli Stati Membri dell'Unione Europea di condurre « a preliminary risk assessment that includes an assessment of the potential adverse consequences of future floods for human health, the environment, cultural heritage and economic activity» (EC2007, Articolo 4/c), definendo cioè una precisa mappatura e valutazione delle persone a rischio.

3.2 La vulnerabilità fisico-spaziale. Metodologia di valutazione della vulnerabilità sismica urbana.

La vulnerabilità in generale individua la propensione di un oggetto o organismo a subire danni o alterazioni in conseguenza delle sue caratteristiche intrinseche, sia fisiche che funzionali (Fera, 1991).

La vulnerabilità sismica è stata nel tempo ampiamente utilizzata in riferimento alla 'vulnerabilità delle costruzioni' in un settore di ricerca che è tipicamente connesso alle indagini strutturali. L'estensione del concetto di vulnerabilità dal singolo manufatto edilizio al complesso di un centro urbano e di un territorio ha comportato non poche difficoltà concettuali e operative (Fera, 1991). Alcune ricostruzioni di importanti città avvenute in conseguenza di terremoti distruttivi (Catania, 1693; Messina, 1908), riconoscevano nell'impianto delle strade «ampie e rettilinee» (almeno quanto l'altezza degli edifici in esse prospicienti), degli spazi aperti, delle ampie piazze, una misura di prevenzione al rischio sismico (Piano di ricostruzione di Camastra, Catania). Riconoscevano dunque il ruolo della progettazione urbanistica per la riduzione del rischio, tanto che la città di Messina del Piano Borzì rappresenta un modello di 'città antisismica' (Fera, 1991). Infatti anche se embrionalmente, questi piani di ricostruzione evidenziavano la rilevanza degli aspetti di relazione tra le varie componenti della città (strade, piazze, edifici), al punto da caratterizzare la dimensione territoriale, la morfologia e l'immagine urbana complessiva (Fera, 1999). Il semplice trasferimento del concetto di vulnerabilità dal singolo manufatto architettonico alla sfera della vulnerabilità del sistema urbano nel suo complesso sembra non sufficiente a descrivere le reali condizioni dell'aggregato urbano. Nel passaggio di scala infatti molti elementi di relazione tra gli edifici sono trascurati nella semplice sommatoria delle vulnerabilità dei singoli manufatti.

La vulnerabilità sismica urbana può essere intesa come «l'attitudine al danneggiamento fisico e funzionale di un sistema e non dipende solo dal grado di vulnerabilità dei singoli manufatti (connesso alle loro caratteristiche morfologiche e costruttive) ma anche dall'organizzazione funzionale dei sistemi che assicurano l'effetto urbano (attuale standard di funzionamento e ruolo dei singoli elementi fisici componenti nel funzionamento complessivo

del sistema) e dalla loro organizzazione spaziale (concentrazione e diffusione territoriale; rapporto tra sistemi e ambiente fisico) (Cremonini, 1994).

Già a partire dalla metà degli anni '80 la normativa regionale dell'Emilia Romagna ha posto notevole attenzione al tema della riduzione preventiva del rischio sismico a scala urbana, ed è l'unica regione ad avere approntato fin dagli anni novanta un metodo speditivo di analisi e valutazione preliminare della vulnerabilità sismica urbana, funzionale a stabilire se la pianificazione urbanistica aumenta o riduce il rischio sismico. L'approccio analitico-metodologico adottato per i Comuni che fruivano degli incentivi per la redazione dei Piani di Recupero (ex lege 457/78; L.R. 6/1989; L.R. 16/2002) ha previsto una fase di sperimentazione che si è conclusa con la pubblicazione di due manuali operativi per l'analisi e la riduzione della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani (Regione Emilia Romagna 1999, 2004), a cura di Irene Cremonini.

I manuali contengono informazioni relative alla modalità di compilazione delle schede utili alla definizione della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani. Attraverso i Piani di Recupero si è costruito un processo di pianificazione urbanistica particolareggiata per ridurre il rischio sismico guidato da alcuni strumenti definiti dalla Regione:

- analisi a scala urbana rapida dell'esposizione e della vulnerabilità dei sistemi urbani;
- metodo per valutare la vulnerabilità dei sistemi urbani, contestualmente alla redazione del Piano di Recupero, in quanto solo la valutazione preliminare all'avvio del processo di piano può influenzare le scelte urbanistiche;
- rilievo degli aggregati storici;
- metodologia di redazione e rappresentazione di progetti-guida a scala di aggregato, cioè di progetti urbanistici che coordinano e vincolano i singoli interventi di recupero edilizio;
- normativa tecnica di adozione dei Piani di Recupero che assume finalità antisismiche, corredata eventualmente da un repertorio di interventi tecnici compatibili con i caratteri degli edifici (scala urbana e di aggregato).

La metodologia di analisi e valutazione della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani prevede come prima cosa la definizione del sistema urbano, inteso come insieme di sotto-sistemi, ciascuno preposto ad assolvere una specifica funzione. I sotto-sistemi individuati nella metodologia sono 11:

- sistema delle presenze (valutate tenendo conto dell'intensità d'uso degli edifici in rapporto alla funzione);
- sistema abitativo;
- sistema turistico;
- sistema manifatturiero;

- sistema terziario;
- sistema degli edifici di interesse (strategici per la protezione civile, critici per affollamento, servizi pubblici);
- sistema dei beni culturali;
- sistema dell'accessibilità dall'esterno dell'Unità Territoriale censita;
- sistema delle reti attraversanti l'Unità Territoriale (strade, elettrodotti, acquedotti, metanodotti);
- sistema delle vie di fuga/soccorso interne all'Unità Territoriale censita;
- sistema dell'accessibilità agli edifici di rilevante interesse all'interno dell'Unità Territoriale censita.

Le schede di valutazione adottate per i Piani di Recupero sottintendono una definizione del rischio sismico urbano inteso come probabilità che, in relazione ad un evento sismico di data intensità, si possa verificare in ciascuno dei sotto-sistemi funzionali urbani un certo livello di danni fisici. Sulla base di questa definizione il livello di rischio sismico dei sistemi urbani viene espresso in relazione a 7 indicatori quali-quantitativi:

- esposizione fisica: quantità di persone presenti; quantità o superficie degli immobili relativi a ogni sistema presente nell'UT;
- esposizione funzionale: ruolo dell'UT nel funzionamento complessivo di ogni sotto-sistema funzionale urbano (organizzazione gerarchica e spaziale);
- standard di prestazione del sistema: livello di funzionamento di ciascun sotto-sistema a scala comunale o locale;
- vulnerabilità diretta media dei componenti il sistema: vulnerabilità diretta dei componenti fisici che supportano il sotto-sistema (manufatti o reti);
- vulnerabilità indotta da contiguità tra manufatti: interferenza strutturale tra edifici (dovuta a contiguità) o edifici a filo strada;
- vulnerabilità indotta da manufatti critici: interferenza tra manufatti dei sotto-sistemi e aree di influenza di manufatti che danneggiandosi recano danno a edifici, strade o reti circostanti;
- pericolosità sismica locale: interferenza tra i manufatti dei sotto-sistemi e situazioni geologiche e geomorfologiche che causano l'amplificazione locale di effetti sismici.

Ad ogni indicatore viene attribuito un punteggio in relazione al sotto-sistema censito dell'Unità Territoriale. Dalla somma dei punteggi per ogni fattore di rischio si ottiene un indice aggregato di vulnerabilità urbana del sotto-sistema per ciascuna UT.

La scelta degli indicatori di ciascun fattore risente delle risorse economiche: vengono maggiormente utilizzati dati esistenti di natura statistica o urbanistica. Indicatori più precisi deriverebbero, eventualmente, da approfondimenti campionari o sistematici della vulnerabilità edilizia eseguiti

ad hoc. I valori di vulnerabilità sismica ricavati vengono infine raggruppati in classi distinte secondo una notazione qualitativa: bassa, media, alta, molto alta.

Un avanzamento rispetto al metodo fin qui analizzato, si trova nel Progetto SISMA (*System Integrated for Security Management Activities*) adottato per il Comune di Forlì (2007). In questo progetto, coordinato dal gruppo della Cremonini, il livello medio di vulnerabilità dei manufatti componenti ciascun sotto-sistema funzionale (indicatore n.4), nel caso di sistemi costituiti da edifici (abitazioni, edifici produttivi, edifici di rilevante interesse per la collettività, beni culturali) prevede una stima della vulnerabilità edilizia media. Per effettuare questa stima sono stati adottati dati a disposizione del Comune di Forlì, derivanti da studi precedenti, che hanno consentito di avere informazioni più attendibili e dettagliate di quelle ottenute elaborando i dati ISTAT, senza tuttavia ricorrere a indagini sul campo.

I dati a disposizione sono stati:

- preesistenti valutazioni di vulnerabilità edilizia (svolte con metodo GNDT/CNR di primo e secondo livello), redatti dalla Regione Emilia Romagna su 26 edifici di rilevante interesse per la collettività nel centro storico della città;
- carta delle classi di altezza degli edifici;
- elaborati di PRG per la disciplina particolareggiata del centro storico con classificazione degli edifici in relazione ai valori storico-architettonico e le 'costanti tipologiche' da salvaguardare;
- rilievo dei prospetti degli edifici affacciati sulle principali strade del centro storico (scala 1:200).

La tassonomia indicata per la valutazione della vulnerabilità degli edifici si richiama così alla classificazione tipologica adottata dall'EMS98, in modo da poter dedurre una stima di potenziale vulnerabilità edilizia attraverso uno strumento di lettura degli edifici ampiamente consolidato.

3.2.1 La Struttura Urbana Minima

Un approccio teorico alla definizione della vulnerabilità sismica urbana nasce dalle riflessioni di Walter Fabietti (Fabietti, 1999). Fabietti, nell'ottica di 'ridefinire il problema' della prevenzione, individua nel ruolo rivestito dagli strumenti di recupero e/o riqualificazione urbana la strada per raggiungere obiettivi molteplici che contemplano anche quelli di prevenzione sismica.

Una efficace politica di prevenzione deve consentire il permanere di «ragionevoli condizioni di funzionamento dei singoli sistemi che costituiscono la città» e «individuare qual è la struttura urbana minima che deve emergere o rimanere funzionante nell'eventualità di un sisma.» (Fabietti, 1999, pg. 28)

La Struttura urbana minima è definita come «un sistema di percorsi, di funzioni, edifici strategici e spazi ritenuti essenziali per la tenuta al sisma

dell'organismo urbano, anche in seguito alla possibile concatenazione di eventi collaterali causati dal sisma (come frane e dissesti e fenomeni idrogeologici)» (Corradi e Fabietti, 2017).

Uno dei modi per garantire continuità di funzionamento della struttura urbana è consentire la sopravvivenza a un terremoto di progetto delle funzioni vitali di una città, ossia un sotto-sistema di funzioni e spazi che consenta lo svolgimento, anche a ritmo ridotto, di quelle attività che caratterizzano il centro urbano colpito. In questa struttura urbana minima devono essere comprese le funzioni di governo, quelle sanitarie ed educative, quelle produttive e commerciali (Severi, 2004).

Attraverso la Struttura Urbana Minima si persegue l'obiettivo di realizzare la riduzione del rischio sismico urbano e territoriale e di effettuare la prevenzione, in sede di gestione ordinaria pre-sismica e in sede di ricostruzione per mezzo di categorie concettuali e operative proprie dell'urbanistica. Questo significa assumere i contenuti stessi della prevenzione alla stregua degli altri contenuti del processo urbanistico, da assumere come parte integrante e strategica all'interno della formazione degli strumenti urbanistici generali e/o attuativi.

L'Umbria ha attivato fin dagli anni '80 un'incisiva politica di prevenzione dal rischio sismico (anche e soprattutto a causa dei forti terremoti che l'hanno colpita). La strategia sperimentata è stata quella della 'ricerca applicata'²⁶ (Severi, 2004). Successivamente agli eventi sismici del 1997, la Regione, attraverso una ricerca coordinata dal Dipartimento di Pianificazione Territoriale e Urbanistica de La Sapienza di Roma, avente come responsabile scientifico Massimo Olivieri, ha sviluppato una procedura di valutazione e riduzione della vulnerabilità sismica alla scala urbana (Olivieri, 2004). L'idea generale è quella di definire una vulnerabilità 'totale' che non analizzi soltanto l'edificio, né l'isolato, né il centro urbano nelle sue fisicità, ma anche il

²⁶ Alcuni esempi significativi sono:

- *Scheda di rilevamento da terremoto con annessa procedura informatizzata per la determinazione analitica del danno* (coordinatore A. Borri dell'Università di Perugia). Tale ricerca si è trasformata in procedura amministrativa utilizzata nella stima dei danni nel terremoto di Massa Martana prima (maggio 1997) e Umbria poi (settembre 1997);
- *Indagini di vulnerabilità edilizia nel centro storico di Città di Castello* (v. Cap.4, par. 4.5) e altri centri della Valtiberina (coordinata da A. Borri dell'Università di Perugia). L'indagine è stata propedeutica al lavoro di messa a punto della legge della Regione Umbria sulla prevenzione sismica del patrimonio edilizio esistente (L.R. 18/2002) e del successivo regolamento regionale 15 luglio 2003 n.9. Tale regolamento, basato sulla vulnerabilità del complesso edilizio definita attraverso soglie che analizzano i meccanismi di collasso, trova la sua risorsa innovativa sul passaggio dalla vulnerabilità edilizia a quella dell'isolato;
- *Microzonazione su oltre il 30% del territorio regionale e norme per una corretta applicazione.*

contesto ambientale, sociale ed economico che ne governa l'assetto, determinando così gli elementi costituenti la Struttura Urbana Minima.

La ricerca sviluppata trova applicazione nello studio del centro urbano di Nocera Umbra, una delle località più colpite dal sisma del 1997. Questa scelta ha consentito di espletare la verifica di congruenza tra il danno ipotizzato e il danno effettivo, e tarare conseguentemente la metodologia.

I contenuti della struttura urbana minima sono riferiti a definire gli elementi strutturali e strategici del sistema urbano nella fase 'ordinaria' e nella fase dell'emergenza, dovuta al sisma. Gli elementi relativi all'ordinarietà sono anche gli elementi necessari a garantire la ripresa del centro urbano dopo la fase emergenziale, ossia quelle funzioni 'vitali' indispensabili per la riacquisizione della 'significatività consueta' del contesto urbano (Olivieri, 2004).

I contenuti della Struttura urbana minima sono di carattere immateriale, eventualmente mediato dalla fisicità degli elementi cui sono riferibili e di carattere materiale, come edifici, strutture, luoghi, spazi. Appartengono alla prima categoria funzioni e significati legati al tema della riconoscibilità e autoriconoscibilità della popolazione, al senso di comunità urbana, delle tradizioni civiche e religiose, al senso di appartenenza a un centro storico ricco di emergenze: significati che connotano proprio una comunità. Questi significati sono mediati dalla materialità di un centro storico, di un'emergenza architettonica, di una piazza, di un percorso processionale, tutte funzioni 'vitali' di un centro urbano. Appartengono alla seconda categoria il sistema delle strade che consentono gli spostamenti consueti della popolazione verso luoghi e strutture che fanno parte della quotidianità, ma che rappresentano anche le necessarie vie di fuga e accessibilità in caso di emergenza, il sistema degli spazi pubblici e le piazze, gli edifici 'contenitori' di funzioni di carattere sociale, amministrativo, culturale, sanitario, commerciale e di protezione civile.

Il riferimento teorico concettuale della metodologia adottata nel caso studio di Nocera Umbra si fonda sull'adozione di due categorie analitiche e operative: la Struttura Urbana Minima e la vulnerabilità urbana.

La ricerca è impostata attorno a diverse fasi tra loro interconnesse:

- l'identificazione preventiva della Struttura urbana minima;
- la valutazione della vulnerabilità complessiva dell'insediamento, sviluppata in primo luogo sugli ambiti influenti su elementi e sistemi costitutivi della Struttura Urbana Minima;
- l'identificazione degli ambiti maggiormente vulnerabili;
- l'individuazione degli elementi critici per la Struttura urbana minima;
- la rappresentazione del danneggiamento subito dall'insediamento in seguito al sisma;

- la definizione di criteri generali di intervento per la riduzione della vulnerabilità urbana complessiva.

Nella scelta delle categorie interpretative, nella definizione delle informazioni necessarie e nella modalità di elaborazione delle conoscenze, la ricerca ha definito una procedura di valutazione della vulnerabilità urbana complessiva che fosse applicabile in contesti diversi e dunque generalizzabile, attraverso l'adozione di dati già disponibili nei processi ordinari di gestione del territorio a scala locale (Giuffrè, 2004).

Il campo di indagine della ricerca è l'insediamento urbano nel suo complesso, inteso nel sistema di relazioni con il contesto territoriale. Le categorie impiegate per la lettura dei fenomeni trattati sono: i) tipo edilizio; ii) isolato; iii) tessuto; iv) parte di città, congruenti con l'interpretazione sistemica delle componenti urbane e con i tre momenti in cui si articola il processo di identificazione della Struttura Urbana Minima:

- riconoscimento di elementi con caratteristiche sufficientemente omogenee, a diversa scala: edilizia (tipi edilizi e l'isolato) e urbana (tessuti, parti di città), attraverso la loro aggregazione, le relazioni con le funzioni e con il contesto fisico-morfologico.
- riconoscimento del ruolo delle singole parti all'interno dell'insediamento in termini di 'peso' relativo;
- individuazione di parametri significativi per uno studio speditivo, ma comunque organico, del comportamento sismico dell'insediamento e delle sue parti costitutive.

L'adozione di queste categorie costituisce un approccio multiscalare e pluridisciplinare, condizione indispensabile nell'ambito degli studi di vulnerabilità urbana.

Le dimensioni ridotte del centro urbano di Nocera hanno consentito di effettuare il rilievo capillare dei caratteri morfotipologici dei tessuti edificati, individuando caratteristiche tipologiche, strutturali e funzionali degli edifici, delle strade e degli spazi aperti. In questo modo è stato possibile individuare l'esatta localizzazione delle funzioni non residenziali e la distribuzione dei tipi residenziali, le quali, in contesti urbani di maggiore dimensione sono effettuate secondo valutazioni aggregate per prevalenza. Queste indagini sono state effettuate cinque anni dopo il terremoto del 1997, e hanno consentito di effettuare il confronto tra le valutazioni preliminari e i danni effettivi.

L'area di indagine è stata suddivisa in unità di rilievo e utilizzata come riferimento univoco per l'individuazione di edifici, strade e spazi aperti.

Le operazioni di rilievo sono state condotte tramite l'impostazione di due tipi distinti tipi di scheda:

Scheda edifici: riferita ad ogni singolo edificio individuato univocamente in planimetria. Ogni scheda è organizzata secondo tre blocchi:

1. caratteristiche funzionali: utilizzazioni – esclusive o prevalenti – degli edifici, distinte secondo i livelli in cui sono svolte (piano terra, piani superiori) e delle aree di pertinenza, la proprietà (pubblica o privata), il livello gerarchico delle funzioni ospitate (locale, urbano, territoriale);
2. caratteristiche tipologico-funzionali: individuazione della posizione dell'edificio nel tessuto, numero di piani, il rapporto tra l'edificio e la conformazione del terreno, le caratteristiche strutturali, la presenza di elementi quali portici, balconate, principali trasformazioni recenti visibili, danneggiamenti visibili;
3. caratteristiche delle aree di pertinenza: individuazione dell'accessibilità, degli usi e della configurazione.

Scheda strade e spazi aperti, caratterizzata da tre blocchi di analisi:

1. Caratteristiche morfologiche: caratteristiche d'uso (pedonale o carrabile), conformazione, intersezioni, accessi carrabili, tipo di pavimentazione, presenza di manufatti stradali (ponti, viadotti);
2. Caratteristiche di vulnerabilità e funzionali: sono riportate le strutture edificate adiacenti (distinte per consistenza fisica e posizione rispetto alla strada), i manufatti e le strutture interne allo spazio stradale, gli elementi aggettanti sulla sezione viaria e/o sul marciapiedi;
3. Caratteristiche di uso attuale, di accessibilità (solo per gli spazi aperti): queste schede sono compilate per tutte le aree libere circostanti alle strade, connesse alla rete viaria, nonché per gli spazi aperti interclusi tra gli edifici.

L'aggregazione delle informazioni raccolte nelle schede di rilievo ha consentito di sviluppare la base di dati per la valutazione dei diversi fattori di rischio, riferite al singolo tessuto individuato quale 'unità di valutazione' sintetizzate in:

- *Scheda di tessuto*: relative al centro storico murato e i tessuti esterni al centro;
- *Scheda di isolato*: relative alle aggregazioni edilizie interne al centro storico.

Le schede di tessuto sono utili anche per il calcolo complessivo delle diverse quantità e tipologie riferite all'intero insediamento in esame (superficie residenziale totale, superficie commerciale) e per la definizione dell'influenza percentuale del singolo tessuto analizzato nella determinazione delle quantità complessive a scala urbana.

Il passo precedente all'individuazione della Struttura Urbana Minima consiste nella propedeutica lettura della struttura urbana nel suo complesso, sulla base dell'analisi morfologico-funzionale dei suoi elementi componenti e delle relazioni tra essi ricorrenti. L'analisi tuttavia, essendo stata condotta dopo il

terremoto, consentiva una chiara lettura degli esiti del sisma, ma poco chiari risultavano la struttura e il modello funzionale a regime del centro urbano: questo aspetto ha imposto un'inversione del processo logico-temporale di indagine (Pizzo, 2004).

Attraverso la lettura dei caratteri del territorio è stato possibile individuare alcune situazioni problematiche, evidenziate da tre elaborati di dettaglio:

- sistema geomorfologico, idrologico e ambientale-paesistico che hanno permesso di definire la morfologia di sito e i primi elementi di pericolosità;
- sistema delle infrastrutture e delle funzioni urbane (dei servizi e delle infrastrutture) che rivestono un ruolo strategico all'interno della struttura urbana, distinto in: sistema dei percorsi, sistema delle funzioni urbane, sistema degli spazi di relazione, sistema delle reti e delle attrezzature tecnologiche;
- sistema insediativo descritto attraverso le parti costitutive dell'insediamento urbano, dei beni storici tramite individuazione e descrizione degli elementi di interesse storico-architettonico e tipologico, tra i quali gli oggetti di vincolo (legge 1039/39).

La lettura dell'organizzazione insediativa dell'area è stata finalizzata alla comprensione del rapporto tra le caratteristiche morfologiche e funzionali delle diverse parti. Sono stati distinti il centro storico, i tessuti, i piccoli nuclei o gli edifici residenziali-agricoli isolati. La lettura dei tessuti è avvenuta in base a quelle caratteristiche di omogeneità dei singoli elementi componenti e delle tipologie e modalità relazionali, che permettono di ipotizzare un comportamento omogeneo in caso di sisma. Le valutazioni sono basate sui caratteri prevalenti.

Alla scala urbana, il centro storico rappresenta uno dei tessuti e viene pertanto analizzato in maniera unitaria. Tuttavia a causa della concentrazione di attività e funzioni necessita un approfondimento, attraverso il quale è stata effettuata una classificazione degli isolati in relazione a:

- Conformazione generale dell'isolato: lineare, curvilineo, a blocco;
- Andamento dell'isolato: regolare, irregolare, complesso;
- Tipi edilizi che lo compongono: schiere monoaffaccio o biaffaccio, palazzi, edifici specialistici o complessi, tipologie particolari;
- Funzione prevalente: residenziale, mista, specialistica.

La SUM viene descritta attraverso due dimensioni, che sono rappresentative delle sue due caratteristiche strategiche: quella di 'ripresa e mantenimento' delle attività urbane ordinarie e quella della 'fase di emergenza'. In entrambe vengono rappresentati i caratteri fondamentali della Struttura urbana minima, caratterizzata da una parte dal sistema di funzioni, percorsi e spazi per la ripresa e il mantenimento delle attività urbane ordinarie, economico-sociali e

di relazione e dall'altra dagli elementi, quali edifici, percorsi, spiazzi che assumono valore strategico nella fase di emergenza. In entrambi i casi emergono le caratteristiche invarianti della SUM:

- sistema di percorsi all'interno del centro abitato, capace di garantire connessioni sicure tra gli edifici strategici e verso l'esterno dell'insediamento;
- sistema di percorsi e di spazi aperti intesi come vie di fuga e spazi sicuri nella fase di emergenza;
- ridondanza di percorsi e spazi tale da assicurare un'alternativa per il funzionamento della mobilità.

Il processo metodologico adottato nella ricerca su Nocera Umbra ha sottolineato l'importanza della relazione tra le categorie di Struttura urbana minima e di vulnerabilità urbana, chiarendo che se la Sum può essere intesa come il sistema di strutture funzionali e spazi strategici per il mantenimento delle attività urbane ordinarie nella fase di emergenza e di ripresa, la vulnerabilità urbana rappresenta «la suscettività alla perdita di organizzazione e di funzionalità complessiva dell'insediamento, letta attraverso l'identificazione dei sistemi che lo compongono, dei diversi fattori di rischio (vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio, pericolosità sismica, esposizione urbana) e delle loro relazioni reciproche» (Fazio, 2004).

I momenti di analisi e definizione delle due categorie concettuali e operative adottate come riferimento teorico costante della ricerca, sebbene autonomi, sono strettamente legati. Infatti se per valutare le criticità della Sum è indispensabile conoscere le indicazioni provenienti dall'analisi della vulnerabilità urbana, d'altro canto i 'pesi' relativi attribuiti ai diversi fattori di rischio sono individuati in funzione della loro caratterizzazione all'interno della Sum stessa.

Nell'ottica di un approccio meramente urbanistico, la modalità di valutazione della vulnerabilità urbana ha seguito tre criteri principali:

- dati di facile accesso, reperibili anche da tecnici non esperti;
- raccolta ed elaborazione dei parametri di valutazione dei fattori di rischio speditive;
- analisi dei fattori di rischio sull'intero insediamento urbano.

Per quanto attiene alle unità di analisi considerate (aggregazioni, ambiti e parti urbane) si è assunto (e poi verificato tramite valutazione) che a omogeneità di carattere urbanistico corrispondesse un comportamento omogeneo sotto sisma.

L'analisi della vulnerabilità urbana ha richiesto una preventiva costruzione della metodologia che si è basata sull'individuazione dei fattori di rischio e dei relativi indicatori, pesi e valori corrispondenti alle specifiche situazioni, relative agli ambiti urbani di riferimento. La vulnerabilità urbana complessiva

è calcolata dall'integrazione dei singoli fattori di rischio, da cui è possibile determinare i diversi livelli relativi di vulnerabilità urbana. È bene precisare che l'obiettivo della procedura metodologica non è quello di individuare un valore assoluto di vulnerabilità urbana (eventualmente riferibile a livelli di intensità macrosismica), bensì definire livelli relativi di vulnerabilità. Lo scopo, dunque, è quello di individuare ambiti più vulnerabili di altri sui quali eventualmente, orientare indagini più approfondite. Per questa ragione può essere considerata una procedura di carattere qualitativo (o semi qualitativo). Questo tipo di approccio necessita una precisa valutazione degli indicatori e una ponderazione dei valori numerici loro assegnati.

La possibilità di osservare gli effetti del sisma del 1997 sul tessuto urbano di Nocera Umbra ha permesso di individuare i singoli parametri ritenuti la causa scatenante di questi effetti dipendenti dalle caratteristiche morfologiche, strutturali, funzionali, quindi urbanistiche complessive. Ad ogni parametro viene attribuito un valore crescente con il peso relativo posseduto, dipendente dalla vulnerabilità. Il peso dipende sia dalle caratteristiche urbane che dagli effetti osservati del sisma, ed è definito in riferimento ad una 'scala di priorità finalizzata', che viene cioè considerata non soltanto in relazione alla suscettività al danneggiamento ma anche al ruolo urbano di ogni elemento o sistema.

Vengono così determinati diversi livelli relativi di vulnerabilità urbana per ogni ambito, secondo due metodi definiti di primo livello, aggregato e sintetico, e secondo livello, analitico e sistemico.

Nei metodi di primo livello, la vulnerabilità complessiva si ottiene come sommatoria degli indicatori relativi dei fattori di rischio dei tessuti, ossia vulnerabilità sismica, pericolosità sismica locale, esposizione urbana. I tessuti vengono poi distinti in classi relative di vulnerabilità complessiva.

I metodi di secondo livello si basano sulla metodologia sperimentata in Emilia Romagna (Cremonini, 1994; 1999; 2000), con adattamenti e modificazioni relative alle specificità locali. Le modificazioni principali rispetto al modello emiliano riguardano la scelta degli indicatori, in modo da risultare coerenti con gli effetti registrati del sisma, e con l'impostazione teorica di fondo, secondo cui il metodo di valutazione è sia strumento per individuare gli ambiti a maggiore vulnerabilità urbana che per individuare l'influenza sugli elementi strategici della Sum.

Le componenti sistemiche individuate, determinanti per la definizione delle funzioni e strutture per l'organizzazione e la qualità dell'insediamento in condizioni ordinarie e di emergenza, sono undici:

- sistema delle presenze;
- sistema abitativo;
- sistema dei servizi e delle attrezzature pubbliche;
- sistema delle attività commerciali;

- sistema delle attività terziarie pubbliche e private;
- sistema turistico-ricettivo;
- sistema delle attività artigianali;
- sistema dei beni culturali;
- sistema dei luoghi di relazione;
- sistema degli edifici strategici e critici;
- sistema dell'accessibilità, delle vie di fuga e degli spazi sicuri.

I fattori di rischio sono rappresentati dai diversi indicatori, che rappresentano le cause di perdita organizzativa globale e sono:

- esposizione fisica;
- esposizione di sistema;
- livello di funzionalità;
- vulnerabilità diretta degli elementi componenti il sistema;
- vulnerabilità indotta da manufatti critici;
- pericolosità sismica locale.

La valutazione della vulnerabilità urbana è caratterizzata da una tabella a doppio ingresso (cfr. Cremonini, 1999), composta da componenti sistemiche e fattori di rischio, ognuno dei quali rappresentato da diversi indicatori. Attribuiti i valori agli indicatori corrispondenti ad ogni sistema e sommandoli per righe si ottiene il valore complessivo della vulnerabilità relativo al singolo sistema e per colonne il valore complessivo rispetto al singolo fattore di rischio. La sommatoria dei valori di ogni indicatore per componente sistemica rappresenta il livello di vulnerabilità urbana complessiva del 'sistema città'.

In entrambi i metodi i valori dei livelli relativi di vulnerabilità ottenuti sono numeri che variano da 1 a 10, con 10 corrispondente al tessuto più vulnerabile.

Questi sono stati raggruppati in classi di vulnerabilità distinte in bassa, media, alta, molto alta.

La ricerca sulla Struttura urbana minima fin qui analizzata è stata tradotta nella legge regionale 11/2005 della Regione Umbria, che all'art. 3 introduce la redazione della SUM contestualmente al PRG (vedi Cap.4, par. 4.5). Per la prima volta, ad una modalità tradizionale di pianificazione urbanistica viene associato uno strumento di prevenzione e riduzione dei danni indotti da un evento sismico, al fine di ridurre il dis-funzionamento del sistema urbano colpito, e conseguentemente garantire una ripresa più efficace e rapida, attraverso l'individuazione della città 'minima'.

3.2.2 La metodologia RADIUS

Una metodologia adottata a livello internazionale per la stima della vulnerabilità sismica urbana è stata sviluppata sotto l'egida delle Nazioni Unite nel 1996. La metodologia RADIUS (*Risk Assessment Tools for*

Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disaster) consente un approccio semplificato e operativo per la valutazione della vulnerabilità sismica urbana e le perdite socio-economiche, attraverso l'individuazione di:

- distribuzione dell'intensità sismica urbana;
- danneggiamento degli edifici;
- stima del danno medio in relazione al numero totale di infrastrutture (ponti, strade, tunnel), reti (sistema idrico, elettrico e delle telecomunicazioni) in una data area;
- numero atteso di vittime e distribuzione spaziale.

La metodologia si sviluppa in 4 fasi:

- valutazione del rischio sismico e la sua distribuzione spaziale, regionale o locale, attraverso la descrizione delle condizioni di 'sito' locali;
- analisi del sistema urbano e identificazione delle componenti principali (umane, fisiche, funzionali) esposte al rischio;
- analisi della vulnerabilità delle componenti principali, attraverso funzioni di vulnerabilità;
- valutazione dell'impatto del terremoto selezionato (terremoto di riferimento), attraverso la stima delle perdite umane e materiali e la loro distribuzione spaziale.

La valutazione del rischio sismico viene effettuata attraverso la distribuzione delle intensità sismiche osservate a seguito dei terremoti storici che hanno colpito l'area di indagine, adottate per stimare i danni sugli edifici, sulle infrastrutture, e sulle reti. In assenza di questo tipo di dati, RADIUS adotta un approccio semplificato, in cui viene considerato un 'terremoto di riferimento' che consente di individuare i parametri principali per la stima dell'intensità sismica:

- origine e faglia corrispondente;
- profondità;
- magnitudo;
- distanza epicentrale;
- attenuazione/amplificazione;
- distribuzione della risposta sismica.

L'indice adottato per stimare l'intensità sismica è la *MMI*²⁷ (*Modified Mercalli Index*), definita dalla conversione della *PGA* (*Peak Ground Acceleration*).

²⁷ Le scale di intensità macrosismica costituiscono sistemi di valutazione dei fenomeni sismici in base agli effetti che questi hanno sulla superficie terrestre. Tali effetti riguardano l'uomo, i manufatti e l'ambiente fisico e sono valutati in maniera ibrida, ovvero fornendo delle indicazioni quantitative o numeriche accompagnate da indicazioni qualitative o descrittive.

La prima scala dell'intensità macrosismica si deve a Mercalli. La scala illustrava e classificava gli effetti dei fenomeni sismici contemporanei o futuri, ma si potevano definire e raffrontare i terremoti passati in base alla classificazione delle antiche descrizioni degli effetti sismici che la nuova scala consentiva.

Ai fini dell'analisi del sistema urbano indagato, la metodologia RADIUS sviluppa un approccio semplificato, suddividendo l'area di studio in maglie (*mesh units*), di dimensioni comprese tra 0,5 e 5 km, al fine di garantire un'analisi appropriata rispetto delle dimensioni del tessuto urbano della città. Le caratteristiche del suolo sono indagate per ogni maglia, in quanto le condizioni locali di sito (amplificazione) possono influenzare notevolmente il comportamento di risposta al sisma in termini di danneggiamento. Il suolo è classificato in: Hard rock, Soft rock, Medium soil, Soft soil. Ad ogni caratteristica del suolo corrisponde un fattore di amplificazione.

La stima del danno viene effettuata in termini di perdite materiali e umane, ovvero numero di edifici danneggiati e numero di vittime.

La stima del danno agli edifici viene effettuata attraverso l'attribuzione di un valore di vulnerabilità in relazione alla tipologia edilizia (vengono individuati 10 tipi edilizi²⁸) e in relazione ad alcuni parametri quali: materiali costruttivi, sistema costruttivo, età dell'edificio, numero di piani, esistenza di un codice sismico. Ogni classe è definita da una funzione di vulnerabilità che esprime la correlazione tra un parametro caratteristico del terremoto (intensità, accelerazione, etc.) e la percentuale di danno, espressa dal rapporto tra i costi di ristrutturazione e i costi di ricostruzione. Le funzioni di vulnerabilità adottate nella metodologia RADIUS sono state stabilite empiricamente in base ai terremoti passati. I livelli di danno considerati sono: totale, esteso-molto rilevante, moderato, leggero.

Il collasso o il grave danneggiamento di un edificio sono considerate le cause principali delle vittime di un terremoto, in quanto si assume che il numero delle vittime derivi dal numero di persone che sono presenti dentro l'edificio durante la scossa sismica. Negli edifici residenziali per esempio la popolazione giornaliera è meno consistente rispetto alla ore notturne. Diversamente il numero delle persone presenti durante la giornata in edifici scolastici, edifici amministrativi, edifici commerciali è maggiore. La metodologia RADIUS utilizza il modello sviluppato da Coburn (Coburn et al., 1992) per stimare il numero di morti e feriti, secondo cui il numero delle vittime

Dalla scala Mercalli sono derivate la scala MCS (*Mercalli-Cancani-Sieberg*) e la scala MMI (*Mercalli Modificata*); l'ultima in ordine di tempo è la MSK (*Mevdev-Sponheur-Karnik*), ad oggi prevalentemente utilizzata nelle indagini macrosismiche e trova vasta applicazione nelle indagini di vulnerabilità sismica degli aggregati di edifici. Quest'ultima ha introdotto la classificazione dell'intensità del terremoto in un'area attraverso i danni da esso provocati ad edifici appartenenti a ben definite tipologie costruttive e agli effetti sull'uomo e sull'ambiente naturale.

La scala MMI è usata prevalentemente negli Stati Uniti e introduce tipologie costruttive diverse da quelle specificate nella scala MSK: in questa scala non è presente l'importante classificazione e sistematizzazione degli effetti, uno dei caratteri principali e fortemente innovativi della MSK.

²⁸ La metodologia RADIUS è stata sviluppata per applicazioni nei Paesi in via di sviluppo dove la sismicità è considerata attiva: Etiopia, Cile, Indonesia, Ecuador, Turchia, Macedonia, Uzbekistan, Messico, Cina.

deriva dal numero degli edifici collassati, dal numero di persone presenti in ogni edificio, dal tasso di occupazione dell'edificio nel momento in cui si verifica il terremoto, dal numero di persone incapaci di scappare a causa dei detriti, dal numero di persone che non perdono la vita immediatamente ma nell'attesa dei soccorsi.

3.2.3 Il modello ENSURE

Nel progetto ENSURE²⁹ (*Enhancing resilience of communities and territories facing natural and na-tech hazards*) viene sviluppato uno strumento concettuale e operativo per integrare la natura articolata e complessa della vulnerabilità, con l'obiettivo principale di suggerire delle politiche di riduzione della vulnerabilità negli strumenti di pianificazione. Il progetto si concentra sulla vulnerabilità come mezzo per approcciare e descrivere gli effetti di potenziali eventi dannosi. La vulnerabilità viene intesa nell'interazione con il pericolo, ed è a sua volta rappresentata come un elemento composito di esposizione, resilienza e capacità adattive. In questo senso l'esposizione è parte della vulnerabilità stessa, ed è dunque definita come la quantità di beni fisico-ambientali collocate in aree pericolose.

Sulla scorta del modello *Pressure and Release (PAR)* e *Access to Resource* proposto da Blaikie et al. (Blaikie et al., 1994) vengono inglobati nella metodologia ENSURE due concetti essenziali nella definizione e valutazione della vulnerabilità.

Il primo è che la vulnerabilità è socialmente prodotta e tale aspetto è tanto importante quanto conoscere gli eventi naturali estremi. I processi sociali sono la causa sottostante e congenita della vulnerabilità di un sistema, e per questa ragione sia questi che le loro cause sotto la 'pressione' (*pressure*) di un evento estremo sono fondamentali per la comprensione dei disastri.

Il secondo concetto è l'introduzione della componente temporale e spaziale nella manifestazione dei fattori di vulnerabilità. Blaikie et al. hanno evidenziato che la vulnerabilità di un sistema sociale non necessariamente si manifesta immediatamente dopo l'evento dannoso, ma si 'scopre' nel tempo.

L'aspetto spaziale della vulnerabilità è stato approfondito dal progetto Armonia (*Applied multi Risk Mapping of Natural Hazards for Impact Assessment*) (2007) che sviluppa uno strumento operativo per orientare le scelte di uso del suolo in aree esposte ai pericoli. L'obiettivo è quello di fornire ai pianificatori territoriali un 'tool' di supporto decisionale - *Decision Support System* - attraverso il quale valutare la compatibilità delle scelte future di uso del suolo in ragione dei rischi esistenti. Perché lo strumento possa essere

²⁹ ENSURE (*Enhancing resilience of communities and territories facing natural and na-tech hazards*) è una ricerca finanziata dal VII Programma Quadro della EU (2008-2011) con l'obiettivo di sviluppare una metodologia integrata per la valutazione della vulnerabilità applicabile a diversi livelli territoriali.

operativo sono necessari dei parametri per valutare pericolo e vulnerabilità. Da una parte, individuare parametri standard per definire il pericolo a livello locale o regionale è operazione relativamente semplice, dall'altra, a causa della natura multi-scalare della vulnerabilità, la definizione di parametri precisi è più complessa. La vulnerabilità, infatti, può essere complicata da valutare nelle diverse scale: alcune caratteristiche di vulnerabilità ad una vista ravvicinata possono apparire evidenti, mentre si affievoliscono ad una scala più grande e vice-versa alcune caratteristiche che possono sembrare molto chiare ad un'ampia scala, perdono di significatività quando frammentate ad una risoluzione superiore. Ai fini di una pianificazione urbana e territoriale, Armonia differenzia due livelli diagnostici di vulnerabilità:

- locale, riferita alla municipalità;
- regionale.

In questa maniera vengono identificati degli indici di vulnerabilità che si distinguono per il livello di indagine: locale o regionale. Questi indici sono sviluppati in modo da esprimere non solo i tre tipi di vulnerabilità cui il progetto fa riferimento- vulnerabilità fisica, sociale e sistemica- ma anche le specificità del pericolo stesso.

Entrambi questi concetti convergono nel modello ENSURE. Il modello teorico è incentrato su quattro matrici che sono strumenti di valutazione della vulnerabilità e della resilienza con carattere preventivo: l'obiettivo è quello di aiutare i *decision-makers* e i cittadini a prendere le dovute misure di prevenzione del rischio.

Le quattro matrici rappresentano a loro volta uno strumento di valutazione della vulnerabilità che varia nel tempo e nello spazio (nella formulazione originale di ENSURE le matrici sono degli ellissoidi raffigurati in un sistema di assi cartesiani dove nell'asse delle ascisse è inserita la dimensione temporale del pericolo- *hazard scale*, e nell'asse delle ordinate è la dimensione scalare- *scale of hazards*). Le matrici e i rispettivi focus sono:

- 1) *Mitigation capacity*: il focus di questa matrice è individuare i parametri di mitigazione della vulnerabilità derivanti dai pericoli naturali;
- 2) *Physical vulnerability*: il focus di questa matrice è l'individuazione dei parametri di esposizione e di vulnerabilità fisica degli edifici, delle infrastrutture e delle persone;
- 3) *Systemic vulnerability*: il focus di questa matrice è l'individuazione dei parametri di vulnerabilità rispetto alle perdite immediate (di primo livello).
- 4) *Resilience*: il focus di questa matrice consiste nella capacità di trasformare le perdite in opportunità.

Ognuna delle quattro matrici contiene a sua volta un sub-set di matrici connesse ai diversi sistemi analizzati: ambiente naturale, ambiente costruito, infrastrutture e sistema socio-economico, per ciascuna delle quali vengono

declinati le componenti e i parametri corrispondenti. Nel caso della matrice *mitigation capacity*, per esempio, le componenti che caratterizzano il sistema naturale sono i pericoli naturali, di cui vengono parametrizzati gli aspetti derivanti dal monitoraggio e dalla previsione del pericolo. Le componenti che caratterizzano il sistema costruito sono parametrizzate attraverso la valutazione delle misure di prevenzione nelle strategie di pianificazione. Nel caso delle infrastrutture, le componenti critiche del sistema infrastrutturale sono parametrizzate attraverso la valutazione di programmi di manutenzione ordinaria; ed infine nel caso del sistema socio-economico, viene parametrizzata la valutazione della consapevolezza da parte degli agenti dell'esistenza di minacce e la disponibilità a orientare comportamenti di mitigazione del rischio a distanza dall'evento pericoloso.

La scelta di articolare la metodologia intorno all'individuazione dei parametri per ognuna delle quattro matrici e corrispondenti componenti è l'aspetto più innovativo dello strumento, che consente l'identificazione dei punti di forza e debolezza delle strategie di riduzione della vulnerabilità esistenti, e le conseguenti indicazioni sulle misure da adottare per aumentare la resilienza. Sebbene orientata alla verifica e al monitoraggio delle condizioni di vulnerabilità con finalità preventive, la metodologia introduce la necessità di allargare il raggio di informazioni da raccogliere nell'ambito dell'analisi del rischio, e vira verso una maggiore complessità nella valutazione della realtà.

3.3 La vulnerabilità sociale. Contributi teorici

Vulnerability is socially produced and is at least as important as an understanding of extreme natural events in understanding disasters. People's vulnerability is rooted in social processes and underlying causes. Only by bringing these social processes and causes together, under 'pressure', with an extreme event can we fully explain disasters (Blaikie et al., 1994).

La centralità delle dinamiche umane, sociali e politiche nel dibattito sulla riduzione del rischio nasce dall'evidenza che molti disastri non si verificano per cause naturali ma avvengono soprattutto a causa di diversi tipi di vulnerabilità che espongono a conseguenze maggiori le persone o i gruppi sociali marginali (Kelman, 2017).

L'uso distorto dell'espressione 'disastro naturale' ha creato fraintendimenti nella definizione stessa del concetto di disastro. I disastri infatti si collocano nell'intersezione tra 'natura e società', risultato dell'interazione fra agente distruttivo e contesto socio-culturale e ambientale su cui l'evento impatta.

Ligi esplicita questo punto con particolare chiarezza:

«[...] si ricava l'importantissima conseguenza logica di togliere all'evento scatenante il significato di disastro, per ricollocarlo nell'ambito del sistema sociale. [...] Secondo le nozioni tecno-centriche il disastro è un evento fisico, secondo quelle socio-antropologiche è invece un fenomeno sociale. [...]».

Un importante avanzamento teorico «[...] consiste nell'aver elaborato una definizione di disastro esterna all'evento fisico, che mette in evidenza come gli effetti della crisi siano già potenzialmente iscritti nel sistema sociale colpito, il quale manifesta per così dire, una quota di vulnerabilità specifica per ogni emergenza» (Ligi, 2009).

Il paradigma della vulnerabilità sociale enfatizza come la distribuzione del rischio tra la popolazione impattata dipenda dalle forze sociali, che riguardano l'allocazione e l'accesso alle risorse, la rilevanza politico-decisionale della comunità, le risorse finanziarie a disposizione per costruire in condizioni di sicurezza (Morrow, 2008).

Morrow (2008) individua due principali fattori di rischio che influenzano la vulnerabilità sociale:

- *status economico*: le risorse economiche sono essenziali per un'appropriata risposta ai pericoli. Un significativo segmento della popolazione vive in uno stato di povertà e a contatto costante e diretto con situazioni di rischio e insicurezza: famiglie povere spesso abitano in prossimità di pianure alluvionali, in abitazioni sotto-standard. I quartieri socialmente disagiati non hanno le infrastrutture né l'accesso alle risorse necessari ad assistere i residenti durante le fasi di crisi. In termini generali gli stati più poveri non hanno un'organizzazione tale da garantire la gestione delle emergenze, né le strutture per la ripartenza.
- *potere politico*: l'inquadramento della popolazione nel più ampio spettro politico rappresenta un altro fattore di rischio. Il potere di condizionare alcune scelte e decisioni politiche, come quelle connesse allo sviluppo economico, l'uso delle risorse pubbliche per lo sviluppo delle infrastrutture e dei servizi, la collocazione di pericoli tecnologici e ambientali determina quale comunità è più vulnerabile. Qualsiasi individuo marginalizzato, per povertà, per genere, per minoranza è più vulnerabile rispetto ad eventi inattesi. Il potere politico è strettamente connesso allo stato economico (Logan and Molotch, 1987): i quartieri più benestanti e politicamente più potenti sono i primi a ricevere i servizi pubblici dopo un disastro, a differenza dei quartieri più poveri dove con difficoltà vengono eliminati i detriti e riattivati i servizi pubblici.

Pericolo e rischi non sono, dunque, ugualmente distribuiti nella società. Gruppi sociali che vivono in aree pericolose non sono ugualmente a rischio. Alcuni avranno risorse umane e materiali ridotte per affrontare il pericolo. Molti studiosi riconoscono una particolare esposizione ai pericoli di alcuni gruppi sociali: minoranze etniche (Cutter, 2001; Pulido 2000, Peacock et al. 2000; Morrow and Phillips 1999; Bolin and Stanford 1998, Bolin 1993); donne (Peacock et al. 2000; Enarson and Scanlon 1999; Morrow and Phillips 1999;

Enarson and Morrow 1998; Hewitt 1997; Fothergill 1996; Morrow and Enarson 1996); anziani e molto giovani (Ngo 2001, Cutter et al. 2000, Hewitt 1997, O'Brien and Mileti 1992) rappresentano alcune delle categorie ampiamente analizzate dall'Heinz Center, ne *l'Human Links to Coastal Disasters* (2002).

Lo studio si basa sul *Framework for Community Planning* (Heinz Center, 2000), che indaga la costruzione sociale della vulnerabilità. Nel *Framework* le forme di vulnerabilità sono tre: biofisica, costruita e umana; la vulnerabilità umana deriva dalle caratteristiche della comunità che la rendono più suscettibile alle minacce ambientali.

Sempre secondo Morrow, i principali fattori di vulnerabilità sociale sono da individuare in:

- *Povert *:   un'espressione della vulnerabilit  riferita allo stato economico (Fothergrill e Peek, 2004). Nelle circostanze di un disastro, tale condizione, a livello individuale, di comunit  o di stato diventa problematica. Gli effetti della condizione economica si manifestano ancora di pi  nelle fasi di ripresa post-disastro, particolarmente in quegli stati in cui l'approccio allo stanziamento degli aiuti   guidato dal mercato (*market-oriented approach*), come nel caso degli Stati Uniti (Peacock e Ragsdale, 1997), e per cui le risorse vengono destinate con ordini di priorit  che non seguono il reale bisogno della popolazione colpita.
- *Minoranza etnica*: a causa di ricorrenti fenomeni di discriminazione nei riguardi delle minoranze etniche, queste spesso sono collocate in quartieri altamente segregati che tendono a trovarsi geograficamente in aree meno desiderabili e pi  esposte ai pericoli (Bullard, 2007). Inoltre le minoranze etniche tendono ad avere meno influenza politica: ad ogni livello del disastro (prevenzione, emergenza, recupero, ripresa) le minoranze etniche risultano pi  emarginate - le vittime Afro-Americani dopo l'uragano Katrina (2005) sono state oltremodo rappresentate in tutte le categorie di et  (Sharkey, 2006) - .Il problema della conoscenza della lingua diventa estremamente sfavorevole rispetto all'interpretazione dei segnali di avvertimento di un pericolo, nella comprensione delle vie di fuga, nella ricerca di informazioni e di assistenza.
- *Genere*: gli uomini e le donne sono vulnerabili in maniera differente. Le differenze dipendono da fattori strutturali di carattere sociale e culturale. Alle donne   da sempre e storicamente assegnato il ruolo della cura e spesso continuano questa funzione anche in case danneggiate dopo un evento disastroso, in alloggi temporanei, nelle case affollate di parenti e amici. Le donne soffrono maggiormente dalla perdita della propria abitazione (Fordham e Ketteridge, 1998).
- *Et  e disabilit *: l'et    un fattore determinante nell'abilit  fisica di movimento dell'individuo in caso di fuga. Le persone disabili sono

spesso curate in ospedale o nelle case di cura, dove le loro opzioni di sopravvivenza sono affidate ai *caregivers*. Anche quando in buone condizioni di salute, le persone più anziane non sono sempre disposte a lasciare le proprie case.

Il problema dell'invecchiamento della popolazione nei Paesi Occidentali si manifesta nel crescente numero di persone 'dipendente in caso di disastri' (Mileti, 1999).

- *Capitale umano*: rappresenta la percentuale di competenze tecnico-produttive nella forza lavoro. Un buon livello di istruzione consente di gestire e negoziare il complesso processo associato alla ripresa, comprendere le procedure di emergenza e i piani di emergenza, i quali sono veicolati attraverso mappe e materiali scritti, che necessitano un buon livello di istruzione.
- *Capitale sociale*: rappresenta la rete delle relazioni, delle connessioni tra gli individui. La famiglia, gli amici sono fonti primarie di scambio di informazioni, avvisi, assistenza e questo in particolare in tempi di crisi. Le reti vengono costruite intorno alle chiese, ai club, ai gruppi familiari, ai centri sociali, ai centri di aggregazione per anziani essenziali ad uscire dall'isolamento. I gruppi sociali che tendono ad essere isolati sono gli immigrati, gli anziani che vivono soli, i senzatetto, gli adulti senza bambini che tendono ad avere minori connessioni con l'esterno (Morrow, 1997).

Questi fattori di vulnerabilità si intersecano e si sovrappongono. Le minoranze etniche sono anche le fasce della popolazione più povera; le famiglie mono-componente o le famiglie guidate da donne sono generalmente più povere. Le donne hanno una più lunga prospettiva di vita e sono oltremodo rappresentate nella popolazione anziana. Ci sono notevoli evidenze del continuo impatto sulle minoranza etniche e sulla classi sociali più disagiate di un evento disastroso in tutte le fasi di ripresa e recupero (Cutter et al. 2006; Jones De-Weever and Hartmann 2006).

Alcune definizioni di vulnerabilità sociale sono riportate in Tabella 3.1.

Tabella 3.1 | Definizioni di vulnerabilità sociale

Watts and Bohle, 1993	La vulnerabilità è definita da tre processi: capacità economica, potere politico e sociale, economia politica (intesa come schema storico-strutturale di riproduzione sociale). L'intersezione di questi tre processi produce lo spazio per la vulnerabilità sociale.
Cutter, 1996	La vulnerabilità è biofisica, costruita e umana. La vulnerabilità umana deriva dalle caratteristiche della comunità che la rendono più suscettibile alle minacce ambientali.
Bolin with Stanford, 1998	La vulnerabilità sociale si verifica quando l'iniqua distribuzione dei rischi è associata ad un impari accesso alle risorse.

Mustafa 1998	Le strutture sociali discriminano sistematicamente gli emarginati socialmente, culturalmente ed economicamente
Heinz Center, 2002	La vulnerabilità umana è il risultato della stratificazione di circostanze che collocano le persone a rischio.
Morrow, 2008	I disastri sono il risultato delle caratteristiche organizzative della società e le condizioni delle persone che risiedono in aree <i>hazardous-prone</i> non sono uguali di fronte al rischio. Alcune hanno poche risorse materiali ed umane per affrontare il pericolo.

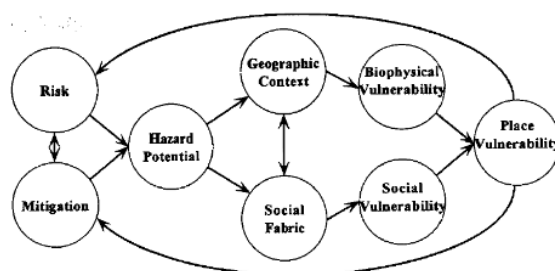
Il focus sulle caratteristiche sociali della vulnerabilità ha un duplice obiettivo:

- migliorare la comprensione dei fattori umani consente la progettazione e l'implementazione di misure efficaci di mitigazione/adattamento al rischio;
- conoscere l'impatto sociale di eventi disastrosi del passato sulle comunità colpite può informare i *policy-makers* sulle opportune risposte in tutte le fasi della gestione del disastro (Heinz Center, 2002).

Uno specifico riferimento alla distribuzione geografico-spaziale della vulnerabilità è stato sviluppato dalla corrente dei geografi, in particolare negli studi di Hewitt e Burton (1971) sulla pericolosità dei luoghi, con l'obiettivo di mappare i pericoli e delineare un'ecologia regionale degli eventi naturali.

Con queste premesse Cutter (1996) definisce un modello concettuale, l'*Hazard of Place* (Cutter, 1996; Cutter, Mitchell, and Scott, 2000; Heinz Center for Science, Economics, and the Environment, 2002) che si incentra sul dialogo costante tra rischio e mitigazione – intesa come strategie di pianificazione volta a ridurre il rischio – che assieme costituiscono il rischio potenziale complessivo³⁰ (Figura 3.1).

Figura 3.1 | Modello Hazard of place



³⁰ Cutter parla di rischio e mitigazione come sintesi di 'overall hazard potential' adottando una terminologia che non fa distinzione tra 'risk' e 'hazard', ovvero tra rischio e pericolo, come nella trattazione del presente lavoro di ricerca. Il rischio infatti è definito « an objective measure of the likelihood of a hazard event» (Cutter et al., 2003, pg.243).

Il rischio è filtrato dal tessuto sociale – rappresentato da fattori socio-economici – che determinano la vulnerabilità sociale di un luogo, e dal contesto geografico – distanza dalla fonte di pericolo, caratteristiche del sito – che determina la vulnerabilità bio-fisica/tecnologica. L'intersezione e interazione delle due forme di vulnerabilità definiscono la vulnerabilità globale di un dato contesto geografico.

Operativamente il modello concettuale viene tradotto in un'analisi spaziale attraverso il software GIS (*Geographic Information System*), e si serve sia di indicatori di tipo bio-fisico, legati alla fonte di pericolo, sia di indicatori sociali (Cutter et al., 2000), che definiscono un indice di vulnerabilità sociale (v. p.3.3.1).

La difficoltà di quantificare in maniera obiettiva e coerente la vulnerabilità sociale introduce il paradosso della vulnerabilità – *the vulnerability paradox* – (Cutter et al., 2003): ovvero per quanto si riconosca la rilevanza dei fattori sociali nella determinazione della vulnerabilità, questi raramente vengono computati nei report di stima delle perdite e difficilmente inseriti nelle indagini analitiche preliminari per la pianificazione preventiva.

3.3.1 Metodologia di valutazione della vulnerabilità sociale

Indicatori e indici

Misurare la vulnerabilità sociale è un *pre-requisito* fondamentale per la riduzione del rischio di disastro e per l'applicazione delle necessarie strategie di mitigazione/adattamento (Birkmann et al. 2013). Le procedure di valutazione della vulnerabilità sociale prevedono l'adozione di variabili di vulnerabilità o indicatori, aggregati in indicatori compositi, in funzione del modello di riferimento. Gli indicatori compositi hanno, ultimamente, avuto una grande diffusione soprattutto perché, attraverso l'utilizzo di sintesi, semplificano l'analisi dei fenomeni socio-economici in serie storica e territoriale. Una domanda sempre più esplicita di misure sintetiche proviene non solo da una generica necessità di conoscenza, viene sempre più espressa da decisori che a tutti i livelli (dal nazionale al locale) richiedono parametri semplici ma efficaci per pianificare e monitorare, in un'ottica che tenga conto di vari fattori, gli interventi da attuare sul territorio (ISTAT -Le misure della vulnerabilità).

Alcune delle principali caratteristiche positive e negative dell'adozione di indicatori compositi sono riportate in Tabella 3.2 (Saisana e Tarantola, 2002).

Tabella 3.2| Pro e contro degli Indicatori Compositi. Fonte: adattato da Saisana e Tarantola, 2002

PRO	CONTRO
Consentono di sintetizzare realtà complesse con una prospettiva di supporto ai <i>decision-makers</i>	Possono condurre a politiche fuorvianti se mal interpretati.

Sono facili da interpretare rispetto a molti indicatori separati	Possono condurre a politiche semplicistiche.
Riducono la dimensione visibile di un set di indicatori senza abbassare l'informazione sottostante	Possono essere adottati per sostenere una specifica politica desiderata, in caso di processo di costruzione poco trasparente o in assenza di robusti principi statistici o concettuali.
Facilitano la comunicazione con il pubblico e sviluppano la discussione pubblica	La selezione degli indicatori e i pesi adottati potrebbe essere soggetto a dispute politiche.
Consentono di sostenere/costruire il discorso tra gli esperti e i non esperti	Può celare errori in alcune dimensioni e accrescere la difficoltà di identificare appropriate azioni, se il processo di costruzione non è trasparente.

In Italia, l'Istat ha adottato il concetto di vulnerabilità sociale e materiale (IVSM), definito come «quella condizione in cui l'autonomia e la capacità di autodeterminazione dei soggetti sono permanentemente minacciate da un inserimento instabile dentro i principali sistemi di integrazione sociale e di distribuzione delle risorse» (Ranci, 2002); il concetto di vulnerabilità sociale si distingue da quello più comunemente utilizzato di povertà, avente come obiettivo l'individuazione di un disagio materiale.

Infatti nel dibattito sulla disuguaglianza sociale, il concetto è stato utilizzato per descrivere le trasformazioni sociali ed economiche in atto negli ultimi decenni che hanno determinato sacche di insicurezza anche tra le classi sociali tradizionalmente garantite: tra questi fenomeni la diffusione dell'instabilità reddituale, la crescita dei lavori temporanei, le difficoltà di conciliazione tra cura e lavoro toccano tutti gli strati sociali aumentando la vulnerabilità di tutti i ceti (Ranci, 2007).

La definizione dell'Indice di vulnerabilità sociale e materiale consiste nella selezione di indicatori che descrivono maggiormente le condizioni di vulnerabilità familiare o individuale: le condizioni abitative, il livello di istruzione, la partecipazione al mercato del lavoro, le condizioni economiche e le strutture familiari anche con riferimento al disagio assistenziale collegato all'invecchiamento della popolazione.

Inoltre i numerosi eventi traumatici collegati a fattori naturali ed ambientali verificatisi negli ultimi anni hanno sempre più spostato l'attenzione sullo 'stato di salute del territorio' in termini di rischio naturale collegato alle caratteristiche del territorio. Il sistema informativo realizzato dall'Istat denominato "Mappa dei rischi" è nato con la funzione di fornire variabili e indicatori di qualità, a livello comunale, che permettono una visione di insieme sui rischi di esposizione a terremoti, eruzioni vulcaniche, frane e alluvioni, attraverso l'integrazione di dati provenienti da varie fonti istituzionali,

quali Istat, INGV, ISPRA, Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo.

Nel 2014 anche le Nazioni Unite, con l'*Human Development Report - Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience*, hanno fornito una proposta di analisi della vulnerabilità, incentrata sulle categorie più deboli (poveri, disabili, immigrati, bambini, anziani e giovani) e analizzato il fenomeno rispetto ai fattori di rischio connessi con il ciclo di vita delle persone oppure a quelli legati allo status socio-economico degli individui. Il rapporto sottolinea l'importanza di ridurre la vulnerabilità, intesa come l'esposizione a fattori di rischio che possono compromettere i livelli di benessere delle persone, e di promuovere la resilienza, cioè le capacità che rafforzano gli individui nel fronteggiare rischi avversi.

Gli indicatori, secondo alcuni autori, sono una misura *proxy* di un concetto astratto e multidimensionale (Schneiderbauer and Ahlrich 2006), secondo altri un insieme di variabili ipoteticamente connesse con il fenomeno in esame, che non può essere misurato direttamente (Chevalier, Chinier, Barnier, 1992).

Vengono distinti sulla base dell'obiettivo per cui sono sviluppati in:

- Indicatori strutturali;
- Indicatori di risultato (outcomes);
- Indicatori di processo.

Gli indicatori di processo consentono la verifica dell'efficacia dei programmi attuati ai fini della riduzione della vulnerabilità; gli indicatori di risultato mirano a verificare il raggiungimento degli obiettivi prefissati e gli indicatori strutturali si riferiscono alle caratteristiche di uno specifico sistema che influenzano la sua capacità di funzionare (Mainz, 2003).

Sia gli indicatori di processo che gli indicatori di risultato hanno la funzione di accrescere la responsabilità delle comunità coinvolte e la sostenibilità dei programmi adottati (Kafle, 2012).

Maclaren (1996) definisce il processo di selezione degli indicatori nelle seguenti fasi:

- individuazione dell'obiettivo;
- definizione dei confini spazio-temporali;
- identificazione del modello concettuale di riferimento, da cui dipende l'identificazione dei temi e degli indicatori;
- identificazione dei criteri di selezione degli indicatori;
- individuazione del set di indicatori;
- analisi dei risultati per validare l'approccio adottato.

L'ultima fase può risultare molto difficile da decifrare in quanto la vulnerabilità è caratterizzata da molti fattori intangibili che sono difficili da catturare o possono essere misurati soltanto indirettamente.

Un indicatore è un concetto che fornisce informazioni su un altro concetto più generale, è più specifico e ha un certo legame di rappresentazione semantica con il concetto più generale. Nel linguaggio tecnico delle scienze umane, l'indicatore è sempre un elemento manifesto che dà informazioni su qualcosa di non manifesto (Amaturo, 2012).

Il fenomeno della vulnerabilità sociale richiede la riduzione del concetto entro un set di indicatori e criteri che ne facilitino una stima, sebbene sia difficile effettuare questa riduzione in una semplice equazione che possa essere applicata a tutti i livelli di indagine e a tutti i tipi di pericolo (Wisner 2002; Downing, 2004; Birkmann, 2006; Kienberger 2012; Birkmann et al. 2013).

I fattori che influenzano la vulnerabilità sociale sono ampiamente riconosciuti dalla comunità scientifica; rimane oggetto di incertezza e discussione l'individuazione del set di indicatori che consenta una misurazione affidabile della vulnerabilità, entro uno spettro che rappresenti l'oggetto della misurazione.

La selezione degli indicatori necessita di essere connessa a degli obiettivi, che servono come base per definire l'*indicandum* (fenomeno di interesse) (Birkmann et al. 2013). La maniera in cui l'*indicandum* viene misurato si declina nelle seguenti modalità:

1. Trend di incremento o decremento della vulnerabilità;
2. Benchmark: definizione di un dato valore di riferimento;
3. Classificazione relativa, incentrata su una prospettiva comparativa tra differenti gruppi sociali, o tra differenti aree geografiche.

La prima modalità di misurazione (1) esprime un tendenza, analizzata per intervalli storici, all'incremento o al decremento della vulnerabilità dell'area di indagine, per cui rappresenta una misura della variabilità dell'indice.

La definizione di un valore di riferimento (2) – *Benchmark* - è limitata dall'assenza di evidenze empiriche che definiscano quantitativamente o qualitativamente valori limite di vulnerabilità sociale (Eakin and Luers, 2006).

La terza modalità di misurazione (3) consente una classificazione per confronto ed è la modalità maggiormente adottata per individuare classi di vulnerabilità sociale relativa.

La maniera in cui sono selezionati gli indicatori è strettamente connessa alla struttura teorica su cui si basa tutto l'impianto concettuale di costruzione dell'indice, alla relazione funzionale tra le variabili o ad una combinazione di entrambi elementi (Gall, 2007). La selezione degli indicatori generalmente segue la strada della soggettività, quella che Schmidtlein definisce il giudizio

esperto (Schmidtlein et al. 2008), sulla base del quale alcuni indicatori sono considerati più rilevanti nell'economia complessiva del modello.

Il livello di rappresentazione, spaziale e temporale, configura un altro limite rilevante nella valutazione dell'indice di vulnerabilità. Infatti la maggior parte degli indici analizzati utilizza database provenienti dalle agenzie di censimento: questi tendono a sottovalutare l'appropriatezza della risoluzione temporale e spaziale dei dati.

È opportuno considerare l'attualità del dato, tale da catturare il fenomeno della vulnerabilità e se la scala del dato è sufficiente a descrivere le differenze sociali tra le unità spaziali (Gall, 2007), onde evitare di cadere nell'errore della 'fallacia ecologica' (Robinson, 1950): inferire le relazioni riscontrate fra le variabili su altri livelli di analisi, in particolare su quello individuale, quando i livelli di indagine sono differenti dalla scala di aggregazione del dato.

Openshaw (1983) sottolinea che alla variazione della scala di analisi, le relazioni tra le variabili aggregate possono cambiare: senza l'accesso al dato originale è complicato comprendere quanto rilevante sia il problema, nonostante molti studi sostengano che le correlazioni tra variabili tendono a crescere al crescere della scala (Schmidtlein et al. 2008).

La scala rappresenta dunque un passaggio importante nello studio della vulnerabilità sociale. Se da una parte gli indici a livello globale, ovvero gli indici che prevedono una valutazione comparativa tra stati, mirano ad informare i *decision-makers* in merito alle politiche da intraprendere per la riduzione della vulnerabilità (Adger, 2004), questa scala fallisce nella descrizione delle eterogeneità della vulnerabilità a scala ridotta; il micro-livello di indagine, d'altra parte, sacrifica le possibilità di generalizzazioni e di applicazione in altri contesti (Eyles and Furgal 2002; O'Brien and Leichenko 2000; Gall, 2007).

Le scale adottate per misurare la vulnerabilità sociale includono:

- il livello della comunità (Morrow, 1999; Dwyer et al., 2004; Tunstall et al., 2007);
- la municipalità (De Oliveira Mendes, 2009; Schmidtlein et al., 2011);
- la provincia/contea (Cutter et al. 2000, 2003);
- la regione (Boruff et al., 2005; Dwyer et al., 2004; Khan, 2012; Wood et al., 2010);
- la nazione (O'Brien et al., 2004).

Alcuni fattori si manifestano soltanto a certe scale (Lee, 2014).

Social Vulnerability Index (SoVI®)

Uno dei metodi per analizzare la vulnerabilità sociale è la definizione di un indice. Cutter et al. nel 2003 pubblicano *Social Vulnerability to Environmental Hazards, SoVI*. Questo approccio viene sviluppato attraverso una selezione

dei fattori sociali che influenzano o definiscono la suscettibilità di una comunità rispetto ad un evento pericoloso e la capacità di gestire la risposta. Sinteticamente, di seguito, vengono esposte le caratteristiche fondamentali del SoVI®:

- L'approccio alla misura è di tipo comparativo: viene sviluppato un confronto della vulnerabilità sociale delle contee degli Stati Uniti;
- Il framework concettuale è l'*Hazard of Places* (Cutter, 1996) in cui il pericolo potenziale è ridotto o aumentato attraverso i filtri geografici e il tessuto sociale del luogo. Il tessuto sociale ingloba fattori che sono influenzati dalle caratteristiche economiche, demografiche e dell'ambiente costruito. La vulnerabilità sociale e la vulnerabilità fisica contribuiscono insieme alla vulnerabilità complessiva;
- I fattori che influenzano la vulnerabilità sociale sono: accesso alle risorse (informazione-conoscenza-tecnologia); accesso al potere politico e rappresentanza politica; reti sociali; età degli edifici e tecnologie costruttive; individui fragili e diversamente abili; tipo e densità delle infrastrutture. Il carattere analitico segue un approccio induttivo, attraverso l'applicazione di un set di variabili che catturi le dimensioni citate, per monitorare i cambiamenti della vulnerabilità sociale nel tempo e nello spazio.

In Tabella 3.3 è riportata la metodologia di costruzione dell'indice di Vulnerabilità Sociale:

Tabella 3.3| Fasi di costruzione del SoVI®

Fase	Numero di variabili
Raccolta dati (statistici secondari) Metodo induttivo	250 variabili
Analisi di Multi-collinearità: individuazione delle variabili collineari al fine di ridurre la presenza di una elevata correlazione tra le variabili esplicative, che non fornirebbero informazioni aggiuntive sulla variabile risposta	85 variabili
Normalizzazione delle variabili e PCA (<i>Principal Component Analysis</i>)	42 variabili
Varimax rotation e selezione delle componenti (criterio di Kaiser)	11 variabili
Interpretazione e combinazioni additive	$SoVI = \sum_{i=1}^n \pm I_n$
Rappresentazione tramite mappa in base alla Standard Deviation (SD) in 5 categorie	SOVI: < -1 SD -1.0, -0.5 SD -0.5, 0.5 SD 0.5, 1.0 SD > 1 SD

Nello sviluppo del modello del SoVI® non vengono attribuiti schemi di peso ai singoli fattori selezionati. La ricerca dimostra la variabilità geografica della

vulnerabilità sociale, e l'ampio *range* delle componenti sottostanti la vulnerabilità.

3.4 Indicazioni emergenti

La vulnerabilità è un concetto molto complesso e affrontato in maniera differente a seconda della matrice concettuale e disciplinare.

Da una parte la vulnerabilità sismica urbana è intesa come l'attitudine al danneggiamento fisico e funzionale di un sistema dipendente dall'organizzazione funzionale dei sotto-sistemi che assicurano l'effetto urbano e la loro organizzazione spaziale. La valutazione del rischio sismico urbano viene espressa attraverso una serie di indicatori, in cui il ruolo del soggetto che abita la città è rappresentato, nella maggior parte delle metodologie descritte, dalla sua esposizione fisica. Tale esposizione è, semplicisticamente, il numero delle persone che abitano un determinato sotto-sistema urbano, all'interno di un'unità territoriale di indagine.

Un'attenzione differente all'individuo e al suo essere abitante della città è invece espressa dagli aspetti di carattere immateriale presentati nella definizione della Struttura Urbana Minima: uno dei principi alla base della definizione della Sum è il mantenimento delle funzioni urbane minime che consentano il regolare mantenimento di una parte (minima) della città, e la riconoscibilità della stessa, in quanto insieme di elementi materiali (centro storico, emergenze architettoniche, percorsi processionali) e immateriali, in cui si identifica una comunità. Elementi questi che tuttavia non qualificano la vulnerabilità sociale, ma si intersecano nel lungo termine con essa, qualora questi valori venissero meno in caso di evento disastroso.

La valutazione del vulnerabilità sociale, all'interno delle analisi sulla vulnerabilità urbana è associata alla stima delle vittime e alla loro distribuzione spaziale (metodologia RADIUS). ENSURE ingloba il concetto di vulnerabilità socialmente prodotta nella valutazione dei rischi urbani, definendo i processi sociali come la causa sottostante e congenita della vulnerabilità di un sistema ed elementi fondamentali per la stessa comprensione dei disastri. Per quanto venga riconosciuta la rilevanza della vulnerabilità sociale, manca un'effettiva trasposizione analitico-operativa ed un bilanciamento tra la necessità di criteri di valutazione generalizzabili e standardizzabili e la necessità di essere sensibili al contesto, alle dimensioni locali di vulnerabilità che, oltre a verificare i fattori di vulnerabilità descritti attraverso database statistici, facciano riferimento alle componenti psicologico-percettive del rischio da parte della collettività. D'altronde, in base al livello di rischio percepito, la mobilitazione contro i rischi si attua solo quando questi coinvolgono da vicino gli ambiti di vita quotidiana di individui, gruppi sociali e dunque il contesto locale. In sostanza dunque la dimensione spaziale della 'società del rischio' non è esclusivamente di carattere globale,

né solo locale. L'aspetto sociale del rischio è sovente legato al contesto specifico e dunque di natura locale. È indispensabile sintetizzare le analisi quantitative e qualitative, che permettono il passaggio da una generalizzazione dei fenomeni di vulnerabilità ad una specificità che è quella su cui è necessario produrre strategie di mitigazione e adattamento rispetto ai crescenti fenomeni di calamità.

Questo tipo di approccio enfatizza le dinamiche sociali nei processi di pianificazione, integrando le dimensioni sociali, non-fisiche e 'soft'. Trattare la vulnerabilità sociale come strumento analitico di pianificazione della prevenzione può risultare una strategia efficace nella direzione di una pianificazione sostenibile.

La vulnerabilità sociale assume la funzione di ponte tra ambiente e uomo con l'obiettivo di sviluppare nuove modalità di acquisizione analitica, ponendo al centro le tematiche che riguardano gli elementi di criticità dei sistemi sociali, e mirando attraverso un approfondimento dell'approccio qualitativo dell'analisi, ad una maggiore apertura verso il paradigma partecipativo della pianificazione urbana, nell'ottica globale di risolvere i conflitti esistenti tra prevenzione e trasformazione.

Riferimenti bibliografici

Adger W.N. (2004), New Indicators of Vulnerability and Adaptive Capacity, In *Technical Report 7, Tyndall Centre for Climate Change Research*.

Adger W.N., K. Brown, D.R. Nelson, F. Berkes, H. Eakin, C. Folke (2011), Resilience implications of policy responses to climate change, In *Wiley Interdiscip Rev Clim Chang* n.2(5): 757–766.

Astengo G.(1966), *Urbanistica*, Enciclopedia Universale dell'Arte, vol. XIV, Istituto per la collaborazione culturale, Venezia-Roma, pp. 541-642.

Birkmann J. (2006), Indicators and Criteria for Measuring Vulnerability: Theoretical Bases and Requirements, In J. Birkmann (Ed.), *Measuring Vulnerability to Natural Hazards-Towards Disaster Resilient Societies*, Tokyo: United Nations University Press, pp. 55–77.

Birkmann J., O. Cardona, M. Carreno et al. (2013), Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework, In *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, vol. 67, issue 2, 193-211.

Blaikie P., T. Cannon, I. Davis, B. Wisner (1994), *At risk- natural hazards, people's vulnerability and disasters*, 2nd edition, Routledge, London.

Bolin R. (1993), *Household and community recovery after earthquakes*. Boulder, CO: University of Colorado, Institute of Behavioral Science.

Bolin R. e L. Stanford (1998), *The Northridge earthquake: Vulnerability and Disaster*, London: Routledge Press.

Boruff B.J., C. Emrich e S.L. Cutter (2005), Erosion Hazard Vulnerability of U.S. Coastal Counties, In *Journal of Coastal Research*, n.21(5): 932–942.

Bullard Robert D.(2007), Environmental Justice in the 21st Century: Race Still Matters, In *Phylon* 49 (3/4):151–171.

Cremonini I. (1994), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici. Metodologie ed esperienze in Emilia Romagna*, In Istituto Nazionale di Urbanistica Emilia Romagna, Firenze, Alinea.

Coburn A.W., R.J.S. Spence, A. Pomonis (1992), Factors determining human casualty levels in earthquakes: Mortality prediction in building collapse, In *Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, Spain.

Corradi E., W. Fabietti (2017), La ricostruzione come metodo. Cosa insegna la storia recente degli eventi sismici in Italia, In F.D.Moccia e M. Sepe (a cura di), *10° Giornata Studio INU "Crisi e rinascita delle città"*, Special Issue di Urbanistica Informazioni, 272 s.i., INU Edizioni.

Cutter S.L. (1996), Vulnerability to Environmental Hazards, In *Progress in Human Geography* 20(4):529–39.

Cutter S. L. (2001), *American Hazardscapes: The Regionalization of Hazards and Disasters*. Washington, D.C.: Joseph Henry Press.

Cutter S. L., J. T. Mitchell, and M. S. Scott (2000), Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina, In *Annals of the Association of American Geographers* 90(4):713–37.

Cutter S. L., B. J. Boruff, e W. L. Shirley (2003), Social Vulnerability To Environmental Hazards, In *Social Science Quarterly*, n.84(2): 242–261.

Cutter S. L., C. T. Emrich, J.T. Mitchell, B.J. Boruff, M. Gall, M.C. Schmidlein, C.G. Burton, and G. Melton (2006), The Long Road Home: Race, Class and Recovery from Hurricane Katrina, In *Environment* 48 (2):8–20.

De Oliveira Mendes J. M. (2009), Social Vulnerability Indexes As Planning Tools: Beyond the Preparedness Paradigm, In *Journal of Risk Research*, n.12 (1): 43–58;

Douglas N., A. Wildavsky (1982), *Risk and Culture*, University of California Press, Berkeley, CA.

Downing T. (2004), What Have We Learned Regarding a Vulnerability Science? In *Science in Support of Adaptation to Climate Change*, pp. 18–21.

Dwyer A., C. Zoppou, O. Nielsen, S. Day e S. Roberts (2004), *Quantifying Social Vulnerability: A Methodology for Identifying Those at Risk to Natural Hazards*, Canberra: Geoscience Australia.

Eakin H., A.L. Luers (2006), Assessing the vulnerability of Social Environmental Systems, In *Annual Review of Environment and Resources*, n. 31: 365-394.

Enarson E. e B.H. Morrow (1998), *The gendered terrain of disasters: Through women's eyes*, Miami: Florida International University, International Hurricane

Center.

Enarson E. e J. Scanlon (1999), Gender patterns in flood evacuation: A case study in Canada's Red River Valley, In *Applied Behavioral Science Review* 7(2):103–124.

Faccioli E., V. Pessina (a cura di) (2000), *The Catania project. Earthquake damage scenarios for a high risk area in the Mediterranean*, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti – Roma.

Fazio F. (2004), La valutazione della vulnerabilità urbana: il caso di Nocera Umbra, in Olivieri M. (a cura di) Regione Umbria, *Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X.

Fera G. (1991), *La città antisismica. Storie, strumenti e prospettive della pianificazione territoriale per la riduzione del rischio sismico*, Gangemi Editore, Roma.

Fera G. (1999), Prevenzione del rischio sismico e protezione civile, In *Dossier Terremoti e pianificazione*, Urbanistica n° 110.

Finch C., C.T. Emrich, S.L. Cutter (2010), Disaster disparities and differential recovery in NewOrleans, In *Popul Environ* n.31:179–202.

Fordham M., and A-M. Ketteridge (1998), Men must work and women must weep: Examining gender stereotypes in disasters, In E. Enarson and B. H. Morrow (Eds.), *The Gender Terrain of Disasters*, pp. 81–94, London: Routledge.

Fothergill A. (1996), Gender, risk, and disaster, In *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 14(1): 33–56.

Fothergill A. e L. Peek (2004), Poverty and disasters in the United States: A review of recent sociological findings, In *Journal of Natural Hazards* 32 (1):89–110.

Gall M. (2007), Indices of Social Vulnerability to Natural Hazards: A Comparative Evaluation, PhD Thesis.

Giuffrè M. (2004), *Gli studi per il centro urbano: obiettivi specifici, fasi del lavoro, struttura degli elaborati*, in Olivieri M. (a cura di) Regione Umbria. *Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X.

Heinz Center for Science, Economics, and the Environment (2002), *Human Links to Coastal Disasters*. Washington, D.C.: The H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment.

Heinz Center (2000), *The hidden costs of coastal hazards: Implications for risk assessment and mitigation*. Covelo, CA: Island Press.

Hewitt K. (1997), *Regions of risk: A geographical introduction to disasters*, Essex, UK: Longman.

Hewitt K. e I. Burton (1971), *The hazardousness of a place: a regional ecology of damaging events*, Research Publication 6, Toronto. University of Toronto, Department of Geography.

Istat (2020), *Le misure della vulnerabilità: un'applicazione a diversi ambiti geografici*, *Lecture statistiche – Metodi*, ISBN 978-88-458-2031-1.

Jones-DeWeever A. e H. Hartmann (2006), *Abandoned before the Storms: The Glaring Disaster of Gender, Race and Class Disparities in the Gulf*, In C. Hartman and G.D. Squires (Eds.), *There is No Such Thing as a Natural Disaster: Race, Class, and Hurricane Katrina*, pp. 85–101. New York: Routledge.

Khan S. (2012), *Vulnerability Assessments and their Planning Implications: A Case Study of the Hutt Valley, New Zealand*, In *Nat Hazards*, n.64: 1587–607.

Kelman I. (2017), *Don't blame climate change for the hurricane Harvey. Disaster- blame society*. [<https://theconversation.com/dont-blame-climate-change-for-the-hurricane-harvey-disaster-blame-society-83163>].

Kienberger S. (2012), *Spatial Modelling of Social and Economic Vulnerability to Floods at the District Level in Búzi, Mozambique*, In *Natural Hazards*; n. 64: 2001–2019.

Lee Y.J. (2014), Social Vulnerability Indicators as a Sustainable Planning Tool, In *Environmental Impact Assessment Review* n.44: 31–42.

Ligi G. (2009), *Antropologia dei disastri*, Editori Laterza, Bari.

Logan J. R. e H. L. Molotch (1987), *Urban Fortunes: The Political Economy of Place*. Berkeley: University of California Press.

Maclaren V.W. (1996), Urban Sustainability Reporting, In *Journal of the American Planning Association*, n.62: 184 –203.

Menoni S., D. Molinari, D. Parker, F. Ballio, S. Tapsell (2012), Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies, In *Natural Hazards*, 64 pgg. 2057–2082.

Mileti D. (1999), *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*, Washington, D.C.: Joseph Henry Press.

Morrow B.H. (1997), Stretching the bonds: The families of Andrew, in W. G. Peacock, H. Gladwin, and B. H. Morrow (Eds.), *Hurricane Andrew: Ethnicity, Gender and the Sociology of Disasters*, pp. 141–170. London: Routledge.

Morrow B.H. (1999), Identifying and Mapping Community Vulnerability, In *Disasters*, n.23(1): 1–18.

Morrow B.H. (2008), Community resilience: a social justice perspective, CARRI Research Report, 4.

Morrow B.H. e E. Enarson (1996), Hurricane Andrew through women's eyes: Issues and recommendations, in *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 14(1): 5–22.

Morrow B.H. e B. Phillips (1999), What's gender 'got to do with it'? In *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 17(1): 5–11.

Mustafa D. (1998), Structural Causes of Vulnerability to Flood Hazard in Pakistan, In *Economic Geography* 74 (3):289–305.

Ngo E.B. (2001), When disasters and age collide: Reviewing vulnerability of the elderly, In *Natural Hazards Review* 2(2): 80–89.

O'Brien P. e D. Mileti (1992), Citizen participation in emergency response following the Loma Prieta earthquake, In *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 10(1): 71–89.

O'Brien P. e R. Leichenko (2000), Double Exposure: Assessing The Impacts Of Climate Change Within The Context Of Economic Globalization, In *Global Environmental Change*, n.10 (3): 221-232.

O'Brien K., R. Leichenko, U. Kelkar, H. Venema, G. Aandahl, H. Tompkins, et al. (2004), Mapping Vulnerability To Multiple Stressors: Climate Change And Globalization In India, In *Global Environmental Change*; n.14: 303–313.

Oliver-Smith, A. (2004), Theorizing Vulnerability in a Globalized World: a Political Ecological Perspective, In G. Bankoff, G. Frerks and D. Hilhorst (Eds.), *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*, London: Earthscan, pp. 10 –24.

Olivieri M. (2004) (a cura di), Regione Umbria. *Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X.

Olivieri M. (2004), Finalità, contenuti, articolazione della ricerca, In Olivieri M. (a cura di) Regione Umbria. *Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X.

Openshaw S. (1983), The Modifiable Areal Unit Problem, In *Concepts and Techniques in Modern Geography*, Vol. 38, Norwich, UK: Geo Books.

Peacock W. G. e A. K. Ragsdale (1997), Social Systems, Ecological Networks and Disasters, In W. G. Peacock, B. H. Morrow, and H. Gladwin (Eds.), *Hurricane Andrew: Ethnicity, Gender, and the Sociology of Disaster*, pp. 20–35. London: Routledge.

Peacock W.G. e C. Girard (2000), Ethnic and racial inequalities in disaster damage and insurance settlements, pp.171–190, In W.G. Peacock, B.H. Morrow, and H. Gladwin (Eds.), *Hurricane Andrew: Ethnicity, gender, and the sociology of disasters*, Miami: Florida International University, International Hurricane Center.

Pizzo B. (2004), La definizione della Struttura urbana minima, In Olivieri M. (a cura di) Regione Umbria. *Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X.

Pulido L. (2000), Rethinking environmental racism: White privilege and urban development in Southern California, In *Annals of the Association of American Geographers* 90(1): 12–40.

Ranci C. (2002), *Le nuove disuguaglianze sociali in Italia*, Bologna: Il Mulino.

Ranci C. (2007), Tra vecchie e nuove disuguaglianze: la vulnerabilità nella società dell'incertezza, In *La Rivista delle Politiche Sociali*, N. 4 – 2007: 111-127.

Regione Emilia-Romagna, Analisi preliminare e valutazione dell'esposizione e della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani, 1999, a cura di I. Cremonini.

Regione Emilia-Romagna, Analisi, valutazione e riduzione dell'esposizione e della vulnerabilità sismica dei sistemi urbani nei piani urbanistici attuativi, 2004, a cura di I. Cremonini.

Robinson W.S. (1950), Ecological Correlations and the Behaviour of Individuals, In *American Sociological Review*, n. 15, pp. 321-357.

Severi A. (2004), L'analisi del comportamento del sistema urbano per la determinazione della Struttura urbana minima e della vulnerabilità urbana, In Olivieri M. (a cura di) Regione Umbria. *Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli effetti del sisma: il caso di Nocera Umbra*, Urbanistica, Quaderni, Collana dell'Istituto Nazionale di Urbanistica, INU, Supplemento al n.124 di Urbanistica, Quaderno 44, Anno X.

Schmidtlein M., R.C. Deutsch, W.W. Piegorsch, e S. L. Cutter (2008), A Sensitivity Analysis of the Social Vulnerability Index, In *Risk Analysis*, n. 28 (4): 1099–1114.

Schmidtlein M.C., J. Shafer, M. Berry and S.L. Cutter (2011), Modeled Earthquake Losses and Social Vulnerability in Charleston, South Carolina, In *Applied Geography*, n.31: 269–281.

Sharkey P. (2006), *Were Whites Really More Likely Than Blacks to Die in Katrina? A Reanalysis of the Data on Race and Casualties of Katrina*, Cambridge, MA. The New Vision Institute.

Tunstall S., S. Tapsell, A. Fernandez-Bilbaoet (2007), *Vulnerability and flooding: a re-analysis of FHRC data: country report England and Wales*, Project Report. European Commission.

Watts M.J. e H.G. Bohle (1993), *The Space of Vulnerability: the Causal Structure of Hunger and Famine*, In *Progress in Human Geography*, n.17 (1): 43– 67.

Wisner B. (2002), *Who? What? Where? When? in an Emergency: Notes on Possible Indicators of Vulnerability and Resilience: By Phase of the Disaster Management Cycle and Social Actor*, In E. Plate (Eds.), *Environment and Human Security, contributions to a workshop in Bonn, 23–25 October 2002*, pp. 12/7-12/14.

Wood N.J., C.J. Burton e S.L. Cutter (2010), *Community Variations in Social Vulnerability to Cascadia Related Tsunamis in the U.S. Pacific Northwest*, In *Natural Hazards*, n.52(2): 369–389.

Riferimenti normativi

Linee Guida per la definizione della Struttura Urbana Minima nel PRG (2010), Ricerca Por-Fesr 2007-2013: Linee guida per l'individuazione della Struttura urbana minima e le valutazioni di vulnerabilità urbana. Gruppo di ricerca del Dptu, Responsabile scientifico M. Olivieri.

Legge 5 agosto 1978, n. 457, Norme per l'edilizia residenziale

Legge Regionale 16 febbraio 1989, n. 6, Provvedimenti per il recupero edilizio, urbanistico ed ambientale degli insediamenti storici

Legge regionale 15 luglio 2002, n. 16, Norme per il recupero degli edifici storico-artistici e la promozione della qualità architettonica e paesaggistica del territorio.

Sitografia

Armonia project (2007), *Assessing and mapping multiple risks for spatial planning-approaches, methodologies and tools in Europe*, <http://www.t-6.it/projects/#previous-projects>.

CAPITOLO 4 • La dimensione della prevenzione nella pianificazione urbana

4.1 Introduzione

Vengono di seguito approfondite alcune esperienze nel panorama nazionale ed internazionale in cui sia stato sviluppato un approccio integrato tra i temi di prevenzione del rischio e la pianificazione urbana. Tale relazione è stata esaminata attraverso lo studio delle *best practices* classificate secondo il ruolo tenuto nei processi di governo del territorio.

In termini di Politiche di riduzione del rischio sono stati investigati i casi della Baia dell'Abbondanza (Bay of Plenty Regional Council, Nuova Zelanda) e il Piano di Ricostruzione dello Stato del Queensland (Australia).

Anche se non strettamente connessi al problema del rischio sismico, le politiche adottate nei due Paesi evidenziano l'approccio orientato alla centralità del ruolo del rischio nelle misure e azioni da attivare per la pianificazione urbana e territoriale, quale unico strumento per l'implementazione delle misure di riduzione del rischio alla scala urbana e la costruzione di comunità più resilienti.

In termini di strumento di Piano, invece, sono stati investigati i casi delle città di Faenza, Città di Castello e Messina. L'approfondimento dei casi vuole dimostrare la rilevanza che la prevenzione sismica sta assumendo nell'orientare le scelte di governo del territorio e nella conseguente formulazione di pratiche e strumenti specifici. Il tema della prevenzione sismica, infatti, è stato affrontato in maniera accurata e dinamica all'interno degli strumenti presentati delle tre città. Viene evidenziata la necessità di una sua caratterizzazione prioritaria, permeando le scelte strategiche di piano, ponendosi come ponte attraverso cui raggiungere obiettivi diversificati di qualità urbana ed edilizia, di crescita economica e di integrazione sociale. Nei tre casi esaminati sono stati prodotti originali meccanismi compensativi ed incentivanti finalizzati all'incremento della qualità ambientale in un percorso di sostenibilità.

4.2 Il Risk Based Planning Approach del Bay of Plenty Regional Council, Nuova Zelanda

Nella pianificazione urbanistica, le variabili sulle quali agire ai fini di una politica di prevenzione del rischio, sono basate sulle carte della pericolosità. In alcuni paesi, come la Nuova Zelanda, si sta facendo strada l'idea di una pianificazione urbanistica basata sul rischio, anziché sulle sole carte della pericolosità (Saunders and Kivilgton, 2016).

Il tradizionale approccio alla pianificazione che si occupa di pericoli naturali, infatti, in paesi come la Nuova Zelanda era basato sulla probabilità che un

evento si manifestasse, senza nessuna considerazione rispetto alle conseguenze associate all'evento naturale.

Il passaggio ad un approccio alla pianificazione incentrato sul rischio, *Risk based planning approach* (RBPA) affronta diverse problematiche:

- la definizione di accettabilità, tollerabilità e intollerabilità di un rischio;
- il punto di vista degli *stakeholders* e delle comunità colpite;
- la difendibilità delle decisioni, spesso controverse, di trasformazione urbana e di uso del suolo, conseguenti alle politiche di mitigazione del rischio.

L'approccio sviluppato è frutto delle ricerche di Saunders e Kilvington (Saunders and Kilvington, 2016) che hanno trovato applicazione nel *Regional Policy Statement (RPS)* del Bay of Plenty Regional Council, un documento contenente le direttive da adottare nella gestione delle risorse a livello regionale, e le politiche e i metodi da applicare. Rappresenta un documento statutario che va attuato dai Consigli Comunali e Distrettuali della Regione nel momento della definizione dei Piani.

La novità dell'approccio consiste nel 'mappare il rischio'. Sulla base della valutazione del rischio, in ragione della sua destinazione d'uso un'area può essere perimetrata come area a rischio basso. Una trasformazione d'uso del suolo può definire un nuovo livello di rischio, aumentandolo o riducendolo. Questo approccio rappresenta una differenza sostanziale rispetto agli approcci tradizionali che hanno informato la pianificazione nel passato, dove le zone venivano mappate in ragione della probabilità di manifestazione di determinati eventi pericolosi, e soltanto nel momento in cui una trasformazione è proposta all'interno di quella determinata area vengono applicate le misure di prevenzione. La classificazione basata sul rischio dunque dipende strettamente dal contesto (o 'scenario'), ovvero dall'uso o dalla destinazione individuata per quella data area. Per questa ragione, ad esempio, un'area edificabile non può essere classificata a priori come una zona di rischio basso, medio, o alto. In breve, dunque, mentre l'effetto di un particolare evento (di una certa probabilità) può essere mappato, il rischio non può essere mappato se non rispetto ad uno scenario trasformativo, o ad uno specifico uso del suolo.

La metodologia del RBPA si sviluppa in cinque *steps*, di seguito riportate:

1. Conoscenza del pericolo;
2. Definizione delle conseguenze;
3. Valutazione della probabilità di accadimento dell'evento;
4. Approccio basato sul rischio;
5. Monitoraggio e valutazione.

Questa struttura metodologica consente la partecipazione ad ogni fase degli *stakeholders* e delle comunità interessate, nell'analisi del rischio, nella valutazione e nel processo di *decision-making*. Nonostante si riconoscano

delle aree di incertezza e delle implicazioni derivanti da informazioni incomplete relativamente al pericolo, in ogni caso l'approccio permette di prendere decisioni anche semplicemente sulla base del livello di conoscenza posseduto.

Il processo di comunicazione e coinvolgimento degli *stakeholders*³¹ è fondamentale nella valutazione del rischio e nel processo decisionale. Ad ogni fase, le attività di comunicazione e di coinvolgimento supportano le fasi di valutazione del rischio. Le attività di comunicazione e coinvolgimento del RBPA agiscono per stimolare discussioni complesse in merito all'accettabilità del rischio, sia tra gli enti amministrativi che nella più ampia sfera delle comunità interessate.

La fase di conoscenza del pericolo ha l'obiettivo di individuare le istanze problematiche, identificando il team di professionisti ed esperti il cui contributo sarà necessario nella raccolta di tutte le informazioni relative al pericolo. Tali informazioni vengono trasmesse e condivise per garantire il coinvolgimento degli *stakeholders*.

La seconda fase consiste nel determinare le possibili conseguenze dell'evento pericoloso. Le informazioni relative al pericolo naturale associate alle informazioni di uso del suolo e di trasformazione urbana sono adottate per la definizione degli 'scenari'. Anche in questa fase, la partecipazione degli addetti ai lavori è garantita da un confronto costante tra esperti, amministratori locali e *stakeholders*.

Le conseguenze di un evento sono calcolate attraverso la 'Matrice delle Conseguenze', a sua volta basata sulla mappa dei pericoli sviluppata nella fase precedente (linea di erosione della costa, zone di inondazione da tsunami, zonazione sismica, etc.) e gli usi del suolo (residenziale, commerciale, industriale, ricreativo). Le metriche adottate per la 'Matrice delle Conseguenze' includono misure quantitative e qualitative che rappresentano aspetti riguardanti l'ambiente costruito, aspetti economici e relativi alla sicurezza e alla salute³² (Tabella 4.1).

³¹ Al fine di assicurare l'applicabilità del modello, viene usato il modello *Participatory Action Research (PAR)* (Chevalier and Buckles, 2013). Infatti l'approccio PAR consente il coinvolgimento degli utenti nella ricerca. Viene formato un gruppo composto da ricercatori e *stakeholders* che include anche enti governativi territoriali, componenti del Ministero dell'Ambiente, del Ministero per la Gestione delle Emergenze, accademici e consulenti.

³² Le metriche scelte per il modello RBPA sono estratte dalle linee guida del *Risk Management Guidelines* (Standards Australia/New Zealand, Risk Management Guidelines, Companion to AS/NZS 4360:2004, Standards Australia/Standards New Zealand, Wellington, 2004, p. 120). Le misure possono variare in funzione della differente impostazione nazionale e culturale del paese in cui viene adottato il metodo.

Tabella 4.1 | Matrice delle conseguenze con descrizioni quantitative e qualitative del modello RBPA (Appendix L – Methodology for risk assessment, Bay of Plenty Regional Statement, Strategic Policy Publication, 2014).

Consequence level	Built			Lifelines utilities	Health & safety
	Social/cultural	Buildings	Critical buildings		
Catastrophic	≥25% of buildings of social/cultural significance within hazard assessment area have functionality compromised.	≥50% of buildings within hazard assessment area have functionality compromised.	≥25% of critical buildings within hazard assessment area have functionality compromised.	A lifeline utility service is out for > 1 month (affecting ≥ 20% of the town/city population) OR out for > 6 months (affecting < 20% of the town/city population).	>101 dead and/or >1001 injured
Major	11-24% of buildings of social/cultural significance within hazard assessment area have functionality compromised.	21-49% of buildings within hazard assessment area have functionality compromised.	11-24% of critical buildings within hazard assessment area have functionality compromised.	A lifeline utility service is out for 1 week – 1 month (affecting ≥ 20% of the town/city population) OR out for 6 weeks to 6 months (affecting < 20% of the town/city population).	11-100 dead and/or 101-1000 injured
Moderate	6-10% of buildings of social/cultural significance within hazard assessment area have functionality compromised.	11-20% of buildings within hazard assessment area have functionality compromised.	6-10% of critical buildings within hazard assessment area have functionality compromised.	A lifeline utility service is out for 1 day to 1 week (affecting ≥ 20% of the town/city population) OR out for 1 week to 6 weeks (affecting < 20% of the town/city population).	2-10 dead and/or 11-100 injured
Minor	1-5% of buildings of social/cultural significance within hazard assessment area have functionality compromised.	2-10% of buildings within hazard assessment area have functionality compromised.	1-5% of critical buildings within hazard assessment area have functionality compromised.	A lifeline utility service is out for 2 hours to 1 day (affecting ≥ 20% of the town/city population) OR out for 1 day to 1 week (affecting < 20% of the town/city population).	≤1 dead and/or 1-10 injured
Insignificant	No buildings of social/cultural significance within hazard assessment area have functionality compromised.	<1% of buildings within hazard assessment area have functionality compromised.	No damage within hazard assessment area, fully functional.	A lifeline utility service is out for up to 2 hours (affecting ≥ 20% of the town/city population) OR out for up to 1 day (affecting < 20% of the town/city population).	No dead No injured

Il livello finale di severità dell'impatto globale considerato nell'analisi è determinato dalla conseguenza con il più alto livello di severità. Per esempio, se un evento pericoloso ha un livello 'moderato' di severità in tutte le categorie con l'eccezione della metrica 'Buildings' per la quale si ha un livello massimo di severità, l'impatto globale dell'evento pericoloso sarà considerato come massimo.

Il terzo *step* implica il calcolo della probabilità di occorrenza dell'evento pericoloso, che viene impostato su una scala che va da 1 molto raro, a 5 probabile.

Il livello complessivo di rischio è individuato nella quarta fase della metodologia, e dipende dai risultati dei precedenti *steps*.

Il rischio è dato dal prodotto delle conseguenze dell'impatto per la probabilità di accadimento dell'evento naturale. Il prodotto restituisce un livello di rischio che varia da estremamente basso a estremamente alto. Dal punto di vista della pianificazione urbana questi livelli di rischio sono tradotti in limiti di rischio 'accettabile', 'tollerabile' o 'intollerabile' e sono a loro volte espressi in modalità di intervento sulle zone di rischio individuate attraverso livelli di controllo variabili da parte dell'amministrazione. La matrice viene colorata adottando un colore per i differenti livelli di controllo dell'uso del suolo, i quali diventano via via più restrittivi man mano che il rischio aumenta (Figura 4.1).

Figura 4.1| Matrice prodotto tra la probabilità di accadimento dell'evento pericoloso e le sue conseguenze. I colori rappresentano i livelli di accettabilità, tollerabilità ed intollerabilità del rischio e sono associati a livelli di controllo dell'uso del suolo (Appendix L – Methodology for risk assessment, Bay of Plenty Regional Statement, Strategic Policy Publication, 2014).

		Consequences				
Likelihood		1	2	3	4	5
5		5	10	15	20	25
4		4	8	12	16	20
3		3	6	9	12	15
2		2	4	6	8	10
1		1	2	3	4	5

Level of risk	Level of land use control
Acceptable	Permitted
Acceptable	Controlled
Tolerable	Restricted Discretionary
Tolerable	Discretionary
Intolerable	Non complying, prohibited

L'ultima fase riguarda il monitoraggio e la valutazione. Utilizzando la metodologia RBPA è possibile verificare se l'esposizione ad un dato rischio è cresciuta, è ridotta o è rimasta costante all'interno di una determinata area, rivedendo i profili di rischio condizionati dai differenti usi del suolo (per esempio con l'introduzione di una nuova zona di espansione).

4.3 Il Piano di ricostruzione dello Stato del Queensland (Australia)

Nello Stato del Queensland circa il 26% della superficie si trova su aree alluvionali. Al fine di ridurre il rischio da inondazione, nel 2012 il Queensland Reconstruction Authority (QRA) ha redatto il *Planning for stronger, more resilient floodplains*, uno strumento che promuove la mappatura completa delle aree alluvionali dello Stato e gli indirizzi di pianificazione per orientare, attraverso strumenti appropriati, lo sviluppo in queste aree particolarmente esposte alle alluvioni.

A partire dal giugno del 2015, il QRA³³ è diventato a tutti gli effetti parte integrante del Governo del Queensland, con una propria autorità legislativa necessaria a supportare il governo nella costruzione di uno Stato più resiliente rispetto al rischio di alluvioni (Dick, 2019).

Le Linee Guida del *Planning* introdotte dall'autorità statale competente incoraggia tutte le amministrazioni locali ad adottare le misure proposte sia nel caso in cui queste posseggano un Piano sia nel caso in cui non ne siano

³³ Il Queensland Reconstruction Authority è stato istituito in occasione degli eventi alluvionali che si sono verificati nel Queensland dal Novembre del 2010 all'Aprile del 2011.

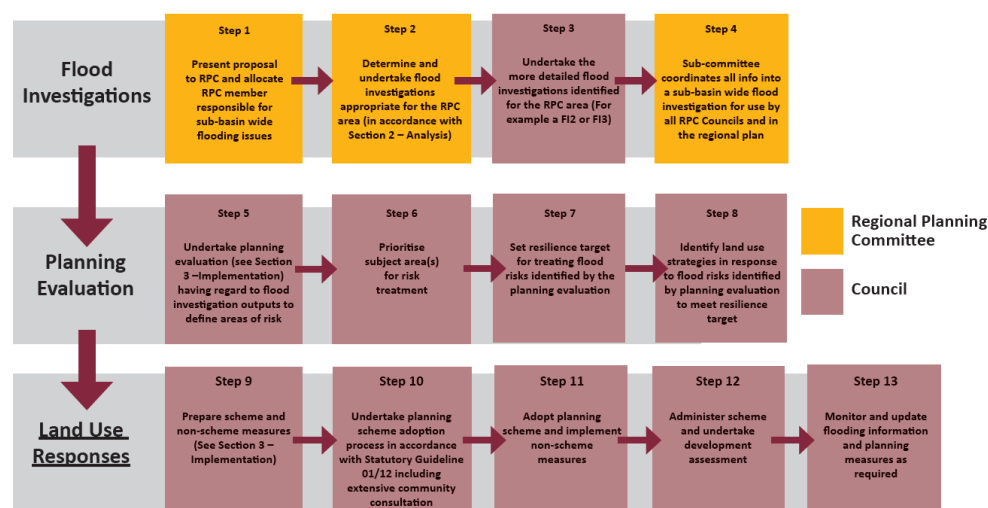
dotate. L'obiettivo principale è quello di integrare la pianificazione dell'uso del suolo con la gestione del rischio da alluvione.

Il riferimento legislativo è il *Sustainable Planning Act (2009)* che ha lo scopo di coordinare e integrare i diversi livelli di pianificazione: statale, regionale, locale.

Il *Planning* è diviso in due parti. La Parte 1 (*Planning - Part1, 2011*) fornisce le misure di mitigazione del rischio alluvionale da integrare negli schemi di pianificazione già esistenti, attraverso un approccio *sub-basin wide*. Questo approccio prevede la definizione di una mappatura di base dei piani alluvionali che prescinde dai limiti amministrativi e una valutazione di eventuali progetti di trasformazione o di sviluppo da adottare, previa verifica locale, immediatamente nei piani esistenti. Dal momento che le indicazioni della Parte 1 delle Linee Guida sono formulate per quelle amministrazioni già dotate di strumento di pianificazione, l'obiettivo è quello di produrre un documento provvisorio che si sovrapponga ai provvedimenti già in atto. La Parte 2 (*Planning – Part2, 2011*) delle Linee Guida fornisce ulteriori indicazioni da integrare nella gestione del rischio alluvioni nei piani che devono essere redatti. Lo sviluppo della Parte 2 si incentra sull'adozione di strategie di gestione del rischio tracciate a livello intercomunale, ovvero incentrate sui reali confini del bacino e non dipendente dai confini amministrativi, così come predisposto nella Parte 1 delle Linee Guida.

I passaggi chiave su cui si sviluppano le Linee Guida del *Planning* (Parte 2) sono di seguito riportate (Figura 4.2):

Figura 4.2| Indicazione di implementazione delle Linee Guida nel processo di Piano (Queensland Reconstruction Authority, *Planning for stronger, more resilient floodplains, Part 2, 2011-2012*).



La fase di indagine del pericolo (*Flood Investigations*) viene sviluppata in funzione di tre livelli di conoscenza che variano in relazione all'intensità dell'impatto e al tasso di crescita dell'insediamento urbano. Il livello più basso

è il primo, idoneo per piccoli centri, il terzo corrisponde ai centri più grossi in cui si prevedono approfondimenti maggiori e strategie di controllo dell'attività edilizie.

La fase del *Planning Evaluation* identifica le strategie di uso del suolo compatibili con le aree a rischio, introducendo le opzioni di mitigazione con la previsione di possibili cambiamenti di destinazione d'uso.

Le amministrazioni, con l'assistenza dell'Authority (QRA) e di concerto con le comunità locali, adottano quindi i risultati del livello di indagine del pericolo (Livello 1-2-3) e il *Planning Evaluation* per indirizzare gli interventi da sostenere nelle aree esposte tra le possibili opzioni di mitigazione del pericolo, quali per esempio la possibilità di vendere il proprio immobile, di rilocalizzare alcune attività, la costruzione di infrastrutture.

Una volta valutate tutte le opzioni vengono sviluppate le opportune risposte di pianificazione (*Land Use Responses*). Se per esempio la costruzione di un'opera infrastrutturale è considerata l'opzione più appropriata nel processo di *Planning Evaluation*, sarà necessario un livello di approfondimento superiore (Livello 3). Tutte le fasi del progetto sono coadiuvate dagli enti direttamente coinvolti nella pianificazione, nella mappatura, nelle indagini idrologiche e nell'analisi del rischio.

Nella gestione delle pianure alluvionali del Queensland attraverso la pianificazione dell'uso del suolo, come sviluppata nel *Planning*, viene rimarcata la netta distinzione tra pericolo e rischio, che ha delle ricadute nella pianificazione. Infatti il rischio, essendo legato al possibile impatto sulle persone, sui beni e sulle proprietà, sulle infrastrutture e sull'ambiente va misurato in relazione alle conseguenze che il pericolo di una certa probabilità possa colpire una comunità. Per questa ragione i pianificatori devono conoscere il rischio causato da un dato pericolo, in particolar modo quando devono bilanciare trasformazioni o nuovi insediamenti, attraverso una pianificazione strategica. Ai fini della progettazione di strategie di pianificazione è importante attribuire un significato alla probabilità di occorrenza di un evento pericoloso e lo stesso peso va attribuito alle conseguenze del possibile impatto sulla comunità. Quest'ultimo aspetto diventa l'elemento chiave per le politiche di prevenzione del rischio. La sua quantificazione coinvolge tanto gli aspetti idrologici che si occupano di valutare i pericoli da inondazione quanto gli aspetti di pianificazione e progettazione delle possibili trasformazioni di uso del suolo compatibili con i differenti scenari.

Il Queensland Reconstruction Authority è stato in grado di coordinare le amministrazioni locali e le attività di molteplici enti e organismi coinvolti nel complesso problema del rischio da inondazioni, seguendo una linea che prevede la consultazione, attraverso l'intero processo, degli *stakeholders* nei progetti di riduzione del rischio oltre ad una connessione costante con gli enti

locali; l'implementazione delle Linee Guida prevede un impegno costante di training e istruzione degli utenti, supportato da tutti i livelli governativi e dai professionisti; la presenza di finanziamenti per supportare le nuove necessarie iniziative.

4.4 Il Piano Regolatore della Sismicità del Comune di Faenza

Il Piano Regolatore della Sismicità (PRS) del Comune di Faenza rappresenta un esempio virtuoso dell'integrazione possibile dei temi che riguardano la sicurezza sismica e la prevenzione nella pianificazione urbana.

In linea con la L.R. n. 20 del 24 marzo del 2000, dal titolo 'Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio', che introduce i nuovi strumenti di governo del territorio, dando vita ad una nuova fase di progettazione urbanistica³⁴, viene approvato nel marzo del 2010 il Piano Strutturale Comunale Associato dell'Ambito Faentino (PSCA)³⁵. L'esperienza del PSCA nasce dalla necessità di fare convergere in un unico strumento «pochi e buoni progetti strutturali» (PSCA, Progetto, Relazione illustrativa, 2010), attraverso strategie urbanistiche orientate ad elevare il benessere della collettività con tempistiche e metodi in grado di cogliere i segnali che possono irrompere sulla scena in futuro per ragioni extra-territoriali. Il PSCA delinea le scelte strategiche di assetto e di sviluppo, di tutela dell'integrità fisica ed ambientale, oltre che dell'identità territoriale. Una volta individuati gli obiettivi strategici, vengono esplicitati i dieci indirizzi concreti, che costituiscono il decalogo condiviso dell'urbanistica sostenibile dai sei Comuni che hanno aderito al Piano. Tra i temi cardine introdotti nel decalogo vi è l'incentivazione della qualità degli interventi e dei progetti di urbanistica sostenibile con premiazione di chi promuove la riduzione di CO₂ in atmosfera e i miglioramenti sismici; il perseguimento della partecipazione dei privati, a mezzo di accordi specifici e trasparenti, alle trasformazioni urbanistiche. Il decalogo in linea con la pianificazione vigente, deriva dagli indirizzi proposti

³⁴ La legge Regionale n. 20 del 24 marzo del 2000 introduce nuovi strumenti per il governo del territorio: il Piano Strutturale Comunale (PSC), il Piano Operativo Comunale (POC) e il Regolamento Urbanistico Edilizio (RUE) in progressiva sostituzione del Piano Regolatore e Regolamento Edilizio (<http://www.comune.faenza.ra.it/Guida-ai-servizi/Settore-Territorio/Il-Piano-Strutturale-Comunale-Associato-PSCA/Dall-idea-all-approvazione>).

³⁵ Nella primavera del 2004, sei Comuni dell'ambito faentino, Faenza, Brisighella, Casola Valsenio, Castel Bolognese, Riolo Terme e Solarolo istituiscono un'Associazione tra i Comuni al fine di avere una pianificazione condivisa e coerente. Tale collaborazione è sancita nel 2004 con l'approvazione del 'Documento di indirizzi politici ed operativi' i cui contenuti costituiscono *Accordo Territoriale* fra i Comuni stessi e filo conduttore delle attività, dalla fase progettuale, fino all'attuazione del nuovo strumento urbanistico comunale: il PSC. L'art.15 della L.R. 20/2000 riconosce l'*Accordo Territoriale* come lo strumento negoziale che i Comuni e la Provincia possono utilizzare per concordare obiettivi e scelte strategiche comuni e per definire gli interventi di livello sovracomunale da realizzare in un arco temporale definito, nonché come lo strumento attraverso il quale prevedere forme di perequazione territoriale da concretizzarsi grazie alla costituzione e alla gestione di un fondo di compensazione economica.

nel 1996 dal PRG del Comune di Faenza che è stato selezionato nel 1999 dall'ENEA come esperienza pilota innovativa di urbanistica sostenibile e validato dal Consiglio Europeo degli Urbanisti nel 2001.

Da un punto di vista metodologico l'integrazione tra sicurezza, progettazione e pianificazione territoriale viene declinata attraverso la definizione di specifici obiettivi urbanistici, intesi come prestazioni minime, che vengono assorbiti integralmente nei Regolamenti Edilizi dei singoli Comuni. Questi sono:

- *Sicurezza*: i) microzonazione sismica; ii) dissesti idrogeologici; iii) allagamenti;
- *Sostenibilità*: i) permeabilità dei suoli; ii) energie rinnovabili; iii) verde e orti urbani;
- *Identità*: i) centri storici; ii) paesaggio; iii) eccellenze puntuali.

Ai fini della sicurezza il PSC inserisce tra gli elaborati conoscitivi dei rischi naturali (Carta del Sistema Naturale e Ambientale) la carta della microzonazione sismica in scala 1:10.000. Gli studi effettuati nella stesura del PSC per il Comune di Faenza, uniti alle indagini di microzonazione sismica confluiscono nelle attività di progettazione del Regolamento Urbanistico Edilizio (RUE). Essi consistono in indagini sia di carattere teorico-bibliografico, che in campagne mirate di indagini in situ, misure geofisiche in profondità (*down-hole*) e in superficie (MASW), tali che ogni intervento alla scala edilizia tenga conto delle analisi effettuate. Queste indagini sono poi tradotte in mappe di pericolosità sismica che hanno permesso di individuare le parti del territorio con particolari criticità (per esempio terreni potenzialmente liquefacibili o terreni poco consolidati) che necessitano di attenzioni nella progettazione e gestione delle infrastrutture e delle costruzioni.

Questi studi sono prioritari per l'approvazione dei piani urbanistici, ed ogni qual volta vengano effettuate delle previsioni trasformative del territorio, la mappa viene integrata con misurazioni geofisiche più precise³⁶.

Dunque già a partire dal Piano Strutturale Comunale, il Comune di Faenza integra nel processo di pianificazione i risultati delle indagini di pericolosità sismica locale concorrendo, attraverso norme calibrate ai risultati ottenuti dalle indagini, al processo di prevenzione e riduzione del rischio sismico, e in più prescrive per le zone che sono potenzialmente a rischio di instabilità e di liquefazione degli approfondimenti di livello superiore.

Il Piano Regolatore della Sismicità (PRS) rappresenta un elaborato conoscitivo del Regolamento Urbanistico Edilizio del Comune di Faenza (2014), e introduce a livello di norma urbanistica strategie per favorire controlli maggiori sull'edificato; uno degli aspetti più innovativi, oltre all'individuazione

³⁶ L'Unione della Romagna Faentina ha ottenuto un contributo regionale nell'anno 2013 per microzonazione sismica di 3° livello nei Comuni che sono interessati da possibili fenomeni di liquefazione (Faenza e Solarolo).

dei rischi territoriali, consiste nell'orientare innovative sperimentazioni volte ad incrementare la consapevolezza collettiva del rischio. Infatti sulla base delle informazioni del Piano Regolatore della Sismicità, il professionista di concerto con la proprietà potrà valutare le problematiche inerenti la sicurezza sismica dell'edificio con attenzione particolare alla vulnerabilità. In particolar modo nel centro storico del Comune di Faenza il RUE ha introdotto un adempimento per tutti gli interventi oggetto di titolo abilitativo in base al quale tali interventi dovranno essere inquadrati all'interno della relazione tecnica descrittiva, nel quadro conoscitivo generale del PRS. La norma richiama quei documenti del PRS che costituiscono i riferimenti minimi conoscitivi in materia sismica del patrimonio edilizio del centro storico. Ai fini di un'efficace miglioramento degli obiettivi di sicurezza (ma anche sostenibilità e identità) sono previsti incentivi e compensazioni. Allo stato attuale, nel RUE, gli incentivi sono tuttavia limitati al centro storico, in quanto dagli studi è emerso essere la parte più vulnerabile della città.

Il PRS si caratterizza per i seguenti obiettivi:

- Conoscenza collettiva che implica una consapevolezza delle priorità di intervento;
- Finalizzazione delle risorse attraverso meccanismi di incentivazione e perequazione;
- Piano di Protezione Civile che implica una visione dell'emergenza associata alla pianificazione regolare.

In questo modo l'idea del progetto di sicurezza all'interno del Piano Comunale viene tradotta in maniera concreta attraverso sintetiche norme comportamentali, con l'obiettivo di incentivare il principio della prevenzione innescando un processo diffuso di prevenzione dal basso.

È compito della pianificazione generale, e non studi meramente settoriali comunque imprescindibili, contenere queste azioni sia per aumentare la consapevolezza del rischio sia per condizionare gli interventi urbanistici ed edilizi.

Al fine di ampliare la conoscenza collettiva vengono identificati diversi livelli conoscitivi a definizione della vulnerabilità del costruito a scala urbana. Si parte da un livello 1 fino ad un livello 3 di approfondimento³⁷.

Il primo livello conoscitivo consente di individuare i caratteri della morfologia urbana cui associare una corrispondenza sotto il profilo tipologico-costruttivo e conseguentemente il profilo di vulnerabilità.

La città viene scomposta in ambiti che presentano caratteristiche di omogeneità dal punto di vista della vulnerabilità. Gli ambiti o comparti rappresentano una porzione di città all'interno della quale vi è un numero

³⁷ Esiste anche un livello 0 di conoscenza che rappresenta il dato già presente a livello nazionale: questo corrisponde al dato elaborato a partire dai dati ISTAT (Di Pasquale et al. 1997) finalizzati alla redazione di mappe di rischio sull'intero territorio nazionale.

significativo di edifici che consenta un approccio di tipo statistico, in cui è possibile assegnare una ripartizione percentuale in tre classi di vulnerabilità, tra le quali viene identificata quella prevalente, assunta come vulnerabilità rappresentativa. Le caratteristiche del comparto sono tali da garantire una sorta di riconoscibilità 'urbana' che non sia solo funzionale alla risposta sismica ma abbia anche ricadute nella pianificazione. Questo tipo di livello conoscitivo consente di sviluppare scenari di danno sismico utili alla pianificazione di emergenza.

Il secondo livello di analisi consente un ulteriore approfondimento attraverso indagini in situ. L'unità minima di analisi è rappresentata dalla tipologia edilizia strutturale, insieme delle caratteristiche strutturali ed edilizie (numero di piani, tecnica costruttiva, regolarità strutturale) comuni ad una popolazione significativa di edifici. La tipologia edilizia strutturale si configura come sottoinsieme delle classi di vulnerabilità, che permette un livello di approfondimento superiore rispetto a quello previsto dalle classi dell'European Macroseismic Scale (EMS-98)³⁸. Tale livello conoscitivo consente anche in questo caso una perimetrazione per ambiti a tipologie omogenee, con l'aggiunta di schedature delle tipologie edilizie, la perimetrazione di comparti urbani caratterizzati da omogeneità di classe e la caratterizzazione morfologica dei tessuti. È possibile individuare le priorità di intervento nel centro urbano e strategie di mitigazione da inserire negli strumenti attuativi di pianificazione.

Il terzo livello conoscitivo è generalmente indirizzato alla valutazione della vulnerabilità di ambiti più circoscritti e generalmente più complessi, come l'edilizia storica in aggregato che caratterizza buona parte dei centri storici italiani. In questo caso il livello minimo di analisi è rappresentato dal singolo edificio, ovvero l'unità strutturale, e richiede una preliminare analisi dell'aggregato strutturale a cui il singolo edificio appartiene. Questo approccio, oltre a consentire un approfondimento conoscitivo delle

³⁸ «L'European Macroseismic Scale (1998) rappresenta un'efficace interfaccia tra la sismologia e l'ingegneria [...], in quanto coniuga gli aspetti ingegneristici, ossia il comportamento delle costruzioni sotto sollecitazioni sismiche, con quelli sismologici sintetizzabili nella misura dell'intensità locale del terremoto in mancanza di dati strumentali» (Dolce M., 2019). L'edificio è utilizzato come strumento di misura del terremoto, stabilendo così una equivalenza tra grado di danneggiamento e scala di intensità della scossa. Data la vasta quantità di tipologie costruttive e la netta differenziazione esistente nei comportamenti di risposta al sisma di dette tipologie, l'edificio come strumento di taratura non è più unico (come nel caso della scala MSC che veniva usata in Italia quando la maggior parte degli edifici era in muratura); dunque al fine della valutazione dell'intensità macrosismica subentra la vulnerabilità.

La Scala attribuisce, in funzione del tipo di costruzione, una classe di vulnerabilità (Tavola della Vulnerabilità) più probabile (dalla A alla F). La variabilità, rispetto alla classe di vulnerabilità, è rappresentata da alcuni fattori che la sola tipologia strutturale non è in grado di evidenziare, quali: lo stato di manutenzione, la qualità della costruzione, l'irregolarità della forma in pianta, il livello di pianificazione antisismica etc. Infine viene indicato un livello di danneggiamento in relazione a due tipologie costruttive principali, cemento armato e muratura portante, che vanno da un grado di livello 1 (danno trascurabile) a 5 (distretto).

anagrafiche associate alle singole unità strutturali, consente una quantificazione dell'esposizione in termine di edifici e di popolazione residente. Può essere adottato come strumento di supporto a pianificazione specifica (Piani Particolareggiati, Piani di Recupero).

Altro obiettivo strategico del PRS è la finalizzazione delle risorse che mirano ad incentivare ulteriormente gli interventi sugli ambiti più a rischio: le norme del Regolamento Urbanistico ed Edilizio (RUE), attraverso il meccanismo degli incentivi, danno facoltà ai proprietari di redigere, in centro storico, la valutazione della sicurezza prevista dalle Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti (2008), che attraverso una perequazione urbanistica genera una quantità di Superficie Utile Lorda (SUL) spendibile in altre aree del territorio urbano. Il meccanismo dell'incentivazione stimola inoltre interventi puntuali di miglioramento sismico sul patrimonio di proprietà comunale, aumentando la quantità di SUL maturata. Gli incentivi sono adottati sia negli ambiti più a rischio, che nei centri urbani consolidati dove è prevista una forma di premialità ad incremento delle potenzialità edificatorie previste dalle norme di zona a fronte della redazione della valutazione della sicurezza, pari a 1,5 m² di SUL ogni 100 m² di SUL analizzata.

A supporto delle analisi e delle elaborazioni del RUE vengono sviluppati due progetti pilota volti a prevedere il possibile danno sismico urbano dell'Ambito Faentino: uno rivolto al sistema urbano consolidato di tipo prevalentemente 'residenziale' ed uno rivolto al centro storico, con i rispettivi codici di pratica. Il progetto del sistema urbano consolidato di carattere 'residenziale' è stato sviluppato nell'ambito del Progetto UrbiSIT³⁹ 2011-2012. Lo sviluppo del progetto da parte della Protezione Civile ha condotto alla definizione di un'impostazione metodologica per la valutazione speditiva della vulnerabilità sismica urbana. Il criterio metodologico adottato è definito 'tipologico' in quanto sono state studiate le tipologie costruttive e strutturali ricorrenti a cui è associata una classe di vulnerabilità EMS-98. L'associazione delle tipologie ricorrenti alle classi di vulnerabilità EMS-98 consente di identificare ambiti che sono considerati omogenei dal punto di vista della vulnerabilità sismica.

I comparti a vulnerabilità omogenea sono perimetrati sulla base dei seguenti criteri:

- Classe di vulnerabilità;
- Articolazione dei tessuti;
- Articolazione della viabilità;

³⁹ Il progetto UrbiSIT è stato siglato con un Accordo di Programma Quinquennale nel giugno del 2006, tra il Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e il Consiglio Nazionale di Ricerca (CNR), l'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) del CNR.

L'obiettivo prioritario del Progetto UrbiSIT è la realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale delle caratteristiche geologico-tecniche di superficie e di sottosuolo delle aree urbane, finalizzato alla gestione della pericolosità geologica e per la definizione di modelli geologico-tecnici finalizzati alla microzonazione sismica, per la pianificazione di Protezione Civile.

- Presenza di elementi naturali;
- Destinazioni urbanistiche.

Dalla carta dei comparti a vulnerabilità omogenea (Figura 4.3) è possibile individuare la distribuzione percentuale delle classi di vulnerabilità EMS-98 stimate sugli alloggi per comparto. In questo modo vengono individuate quali siano le aree del tessuto urbano che presentano percentuali maggiori di distribuzione della vulnerabilità - in alcuni comparti del centro storico del comune di Faenza la vulnerabilità sismica corrispondente alla classe A, la più alta in termini di vulnerabilità dell'EMS-98, è pari al 76% degli alloggi presenti nel comparto - e indirizzare specifiche misure di mitigazione del rischio sismico.

Figura 4.3| Carta dei Comparti a Vulnerabilità Omogenea. Fonte: estratto dal Regolamento Urbanistico ed Edilizio del Comune di Faenza (2014).



Carta dei comparti a vulnerabilità omogenea

Comparti Omogenei

- Comparti
- identificativo comparto a vulnerabilità omogenea

Sulla base dei comparti a vulnerabilità omogenea sono poi elaborati gli scenari di danno generati da due terremoti di diversa intensità, prodotti su edifici e popolazione in termini di edifici danneggiati, inagibili, crolli, senzatetto e vittime. Ai fini dell'elaborazione degli scenari di danno vengono incrociati i dati di pericolosità sismica locale desunti dalle mappe comunali di microzonazione sismica effettuate a corredo del PSC per il Comune di

Faenza⁴⁰. La pericolosità sismica relativa a ciascuna zona in termini di intensità macrosismica è tradotta sul territorio (per ognuno dei terremoti di riferimento), associando ad ogni zona un fattore di amplificazione. Ad ogni zona a pericolosità omogenea viene quindi associata una specifica intensità macrosismica, che confluisce nella relativa mappa a pericolosità omogenea con i relativi fattori di amplificazione e le zone caratterizzate da potenziali fenomeni cosismici in grado di causare deformazioni permanenti (frane, liquefazioni, faglie attive e capaci, etc.).

Per ogni comparto a vulnerabilità omogenea vengono calcolati attraverso intersezioni con le sezioni censuarie dell'Istat 2001 i dati di esposizione in termini di popolazione residente, numero di edifici e numero di abitazioni.

Tabella 4.2| Tavole tematiche per la mitigazione del rischio sismico nel RUE faentino. Fonte: adattato dal Regolamento Urbanistico ed Edilizio del Comune di Faenza (2014).

1) Carta della pericolosità sismica locale SOTTOSUOLO	Microzonazione sismica
2) Carta della vulnerabilità edilizia EDIFICI	Datazione degli edifici (prima e dopo il 1983); Tipologia e morfologia edilizia (regolarità, altezza, distribuzione,...); Tipologia costruttiva (strutture in mattoni, in cemento armato, prefabbricate, presenza di presidi antisismici, edifici in aggregato, ...)
3) Carta dell'esposizione urbana POPOLAZIONE	Densità demografica (affollamento, caratteristiche della popolazione)
1) + 2) + 3) = CARTA DEL RISCHIO SISMICO	Zooning di previsione della distribuzione dei danni (edifici crollati, inagibili, agibili) e determinazione delle zone omogenee e degli scenari previsionali di danno sismico

Con gli scenari di danno l'obiettivo è quello di conoscere e prevedere gli effetti di un sisma, una volta nota l'amplificazione delle onde al suolo, sulla globalità degli edifici costituenti il sistema urbano.

Le elaborazioni degli scenari di danno sono sviluppate secondo i livelli di danno della scala EMS-98, in tre macro-gruppi (danni medio-gravi, inagibili, crolli) in modo da sintetizzare i risultati in mappe di sintesi consistenti in: Abitazioni con danni medio-lievi, Abitazioni inagibili, Abitazioni crollate, Persone Senzatetto e Persone coinvolte in crolli (Figura 4.4).

⁴⁰ La pericolosità relativa a ciascuna zona in termini di intensità macrosismica viene effettuata partendo dall'intensità comunale sviluppata attraverso il Sistema Informativo per la Gestione dell'Emergenza (SIGE), applicativo del Dipartimento della Protezione Civile. Il risultato di tale applicativo è costituito dal valore delle perdite attese (vittime, senzatetto, danni agli edifici) riferite all'interno territorio comunale, dunque non distribuite arealmente sul territorio. Nel 2008 questi scenari sviluppati per tutti i Comuni d'Italia dalla Protezione Civile sono stati conferiti alle Regioni, perché servissero da supporto alla pianificazione di emergenza.

Figura 4.4| Carta della distribuzione delle abitazioni con danni medio lievi per un terremoto con tempo di ritorno 475 anni (VII-VIII MCS). Fonte: estratto dal Regolamento Urbanistico ed Edilizio del Comune di Faenza (2014).



In ultimo il progetto ha portato alla definizione della Condizione Limite per l’Emergenza (CLE), sviluppata sulla base del Piano di Protezione Civile (2010), del Piano Strutturale Comunale (PSC), dell’elaborato di microzonazione sismica e delle schede AeDES⁴¹(2009) compilate per gli edifici strategici in occasione dello sciame sismico del 2000.

La CLE rappresenta quella condizione al cui superamento a seguito del manifestarsi dell’evento sismico, l’insediamento urbano conserva nel suo complesso, l’operatività della maggior parte delle funzioni strategiche e la loro accessibilità e connessione con il contesto territoriale. L’elaborazione della CLE diventa parte integrante del RUE, dunque non un documento prodotto al solo scopo di essere fruibile all’amministrazione comunale, bensì

⁴¹ Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile (2009). Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell’emergenza post-sismica (AeDES).

uno strumento che tecnici e privati possono consultare e verificare ogni qualvolta si accingano a svolgere interventi edilizi.

Dal punto di vista della pubblica amministrazione lo studio della CLE ha lo scopo di definire le priorità di esecuzione delle analisi di vulnerabilità connesse agli elementi strategici e le priorità degli investimenti da realizzare per garantire il funzionamento degli elementi strategici deputati alla gestione dell'emergenza. Nell'apparato normativo del RUE, grazie all'applicazione di incentivi, vengono inoltre inserite misure che puntano a stimolare le valutazioni della sicurezza degli immobili che risultano 'interferenti' nello studio della CLE, con un incentivo maggiorato rispetto agli immobili esterni al sistema.

L'aggiornamento e confronto costante tra Piano di Emergenza della Protezione Civile e CLE rappresentano un importante passo in avanti verso il coordinamento di azioni finalizzate alla sicurezza della città. In questo modo si realizza un obiettivo fondamentale della prevenzione nel governo del territorio, quello cioè che connette la pianificazione urbanistica, gli studi geologici preventivi e i piani di protezione civile con lo scopo principale di salvaguardare la popolazione, prevenire i danni che i rischi sismici inducono ai sistemi urbani e di gestione dell'emergenza nelle fasi successive all'evento sismico.

Il Comune di Faenza è stato il primo Comune in Italia ad aver messo a punto la condizione limite dell'emergenza.

L'approccio del Comune di Faenza nella pianificazione preventiva al rischio sismico rappresenta uno dei primi tentativi nell'ambito italiano della pianificazione volto a sviluppare un'analisi a scala urbana come efficace strumento metodologico-operativo, al fine di pervenire ad una corretta pianificazione preventiva, con l'intento di superare la dominante logica emergenziale.

4.5 La Struttura Urbana Minima di Città di Castello

In seguito al terremoto del 1997 che colpì l'Umbria e le Marche, venne emanata la L.n. 61/1998 recante "ulteriori interventi urgenti in favore di zone terremotate delle Regioni Marche e Umbria e di altre zone colpite da eventi calamitosi", in cui vengono disciplinati gli interventi di ricostruzione dei territori danneggiati dal sisma. Viene demandato alle Regioni il compito di predisporre il quadro dei danni, il programma finanziario, la definizione dei criteri per la pianificazione, la progettazione e la realizzazione degli interventi. Di fatto l'aspetto più innovativo della legge risiede nel subordinare gli interventi di ricostruzione alla redazione dei Programmi di Recupero⁴², redatti

⁴² I Programmi di Recupero prevedono l'integrazione della ricostruzione, o del recupero, di edifici pubblici, edilizia residenziale pubblica e privata, e opere di urbanizzazione primaria e secondaria distrutti o danneggiati dal terremoto (art. 3, comma 1). Ai fini della mitigazione della

dai Comuni e applicati ai centri e ai comuni che hanno subito più del 40% di danni sul patrimonio edilizio. Le Regioni hanno poi specificato criteri diversi, che hanno portato a differenti soluzioni e contributi al tema dell'integrazione tra prevenzione e ricostruzione.

La Regione Umbria ha ampiamente adottato i Programmi integrati di Recupero – PIR (ex L.n. 61/1998), ma con la successiva introduzione della L.R. 11/2005 (Norme in materia di governo del territorio: pianificazione urbanistica comunale) viene finalmente prescritto l'inserimento nei PRG – sia nella fase strutturale che nella fase operativa - degli obiettivi e strumenti per la riduzione e mitigazione del rischio sismico alla scala urbana, attraverso programmi attuativi e settoriali, di fatto integrando per la prima volta pianificazione e prevenzione. La legge fa esplicito riferimento alla Struttura Urbana Minima nel PRG (art. 3, c.3d) e definisce:

«gli elementi insediativi, funzionali e infrastrutturali esistenti e di progetto che nel loro insieme costituiscono la Struttura Urbana Minima di cui è necessario garantire l'efficienza in caso di eventi sismici allo scopo di ridurre la vulnerabilità sismica urbana; a tal fine definisce gli obiettivi da perseguirsi mediante la qualificazione antisismica degli interventi dai quali detti elementi sono interessati ordinariamente, demandando al PRG, parte operativa, la promozione di detta qualificazione anche attraverso meccanismi compensativi, premiali e perequativi.»

La SUM che per definizione rappresenta:

«il sistema di percorsi, spazi, funzioni urbane ed edifici strategici per la risposta urbana al sisma in fase di emergenza e per il mantenimento e la ripresa delle attività urbane ordinarie, economico-sociali e di relazione in fase successiva all'evento sismico (Regione Umbria, L.R. 11/2005)»

è una categoria analitica e di progetto. Infatti legge e interpreta l'esistente, considera anche le trasformazioni previste dagli strumenti di pianificazione e si 'dimensiona' ed organizza prevedendo il necessario miglioramento di funzionalità (Di Salvo, Giuffrè, Pellegrino, Pizzo, 2012).

All'interno delle 'Linee guida per la definizione della SUM' (DGR 164/2010) sono riassunti i principi metodologici di individuazione e di inserimento della SUM all'interno dei processi ordinari di pianificazione a scala comunale.

vulnerabilità sismica urbana, questi strumenti possono essere interpretati come veri e propri programmi di riqualificazione urbana e intervengono non solo sugli edifici residenziali ma anche su quelli pubblici, sulle strade prospicienti, sugli spazi aperti, sulle reti. I Programmi di Recupero comprendono una varietà di categorie di intervento che vanno dal recupero edilizio alla rigenerazione, coinvolgendo attori pubblici e privati, affrontando il tema della ricostruzione tramite progetti organici e rispondendo a necessità di programmazione, con determinazione di costi e tempi.

Questi consistono in un Quadro conoscitivo in cui si individuano la struttura territoriale e l'eventuale connessione con territori contermini oltre al sistema del rischio sismico. In questo quadro conoscitivo vengono individuate le componenti della SUM, ossia le componenti sistemiche della struttura urbana strategica per la risposta al sisma, distinte in (Figura 6):

- sistema della mobilità e dell'accessibilità;
- sistema degli spazi aperti sicuri;
- sistema degli edifici e delle strutture urbane strategiche;
- sistema delle reti tecnologiche principali (*lifelines*).

A seconda delle specifiche caratteristiche di contesto, alla precedente tassonomia, possono essere aggiunti altri sistemi quali:

- sistema dei beni culturali e dei luoghi di aggregazione;
- sistema delle attività economico-produttive e delle funzioni urbane principali.

Le componenti della SUM possono essere esistenti o previste in sede di pianificazione.

Di seguito al quadro conoscitivo, il Documento di valutazione riporta tutte le criticità della SUM e delle sue componenti, che riguardano:

- la danneggiabilità strutturale, per vulnerabilità diretta o indotta;
- la localizzazione in un contesto inadeguato rispetto all'emergenza sismica (assenza/scarsità di spazi sicuri, vie di fuga, specialmente in presenza di particolare sovraffollamento);
- l'influenza di fattori di pericolosità sismica locale;
- l'amplificazione degli effetti (ad esempio quando il danneggiamento di un manufatto porta a perdite di funzionalità sistemiche maggiori della perdita di funzionalità del singolo elemento colpito);
- la debolezza sistemica.

Il Documento programmatico a seguire riporta lo schema delle principali azioni e scelte strategiche, individuate con maggior dettaglio nel PRG-Parte strutturale al fine di incrementare la funzionalità della SUM con indicazione in merito a:

- le componenti strategiche (elementi e sistemi) esistenti da mantenere e confermare;
- le componenti strategiche di progetto e i relativi obiettivi;
- le azioni e gli interventi per l'incremento di funzionalità;
- gli ambiti di intervento nella loro definizione generale;
- le priorità di intervento;
- gli indirizzi e i criteri per l'attuazione.

Nel Documento Programmatico sono introdotte le strategie di riduzione della vulnerabilità sismica urbana per il PRG, volti a mitigare le criticità, apportando miglioramenti fisico-funzionali. Tali obiettivi consentono non solo di ridurre la

vulnerabilità sismica urbana, ma se raggiunti, contribuiscono ad un miglioramento complessivo del sistema urbano.

La valutazione delle criticità consente di individuare gli obiettivi e le azioni per la loro mitigazione. Da questi obiettivi ed azioni sono a loro volta derivate le indicazioni per le scelte di pianificazione e dunque è possibile rappresentare la cosiddetta SUM di progetto ('Misure per il rafforzamento della Struttura urbana minima, PO g.03').

La SUM di progetto è intesa come:

“l'insieme degli elementi strategici esistenti e di quelli che una completa attuazione delle previsioni di piano consentirebbe di aggiungere al sistema complessivo. Si intende quindi la SUM di progetto come la struttura ottenibile ad esito della corretta attuazione delle previsioni” ('Misure per il rafforzamento della Struttura urbana minima, PO. g.03').

Attraverso l'individuazione della SUM⁴³ (Figura 4.5) delle sue criticità e degli obiettivi di mitigazione delle criticità sono state definite le scelte di piano del PRG-PS, al pari di altre indicazioni provenienti da altri studi specialistici, in modo tale da fornire contenuti di carattere valutativo-previsionale per le scelte di piano che riguardano componenti classificate come strategiche nella SUM sulla base delle quali definire le opportune previsioni e normative. Il PRG-PS del Comune di Città di Castello si 'disegna' sulle indicazioni tracciate dagli studi specialistici che affrontano ampiamente i temi del rischio e della pericolosità a livello territoriale.

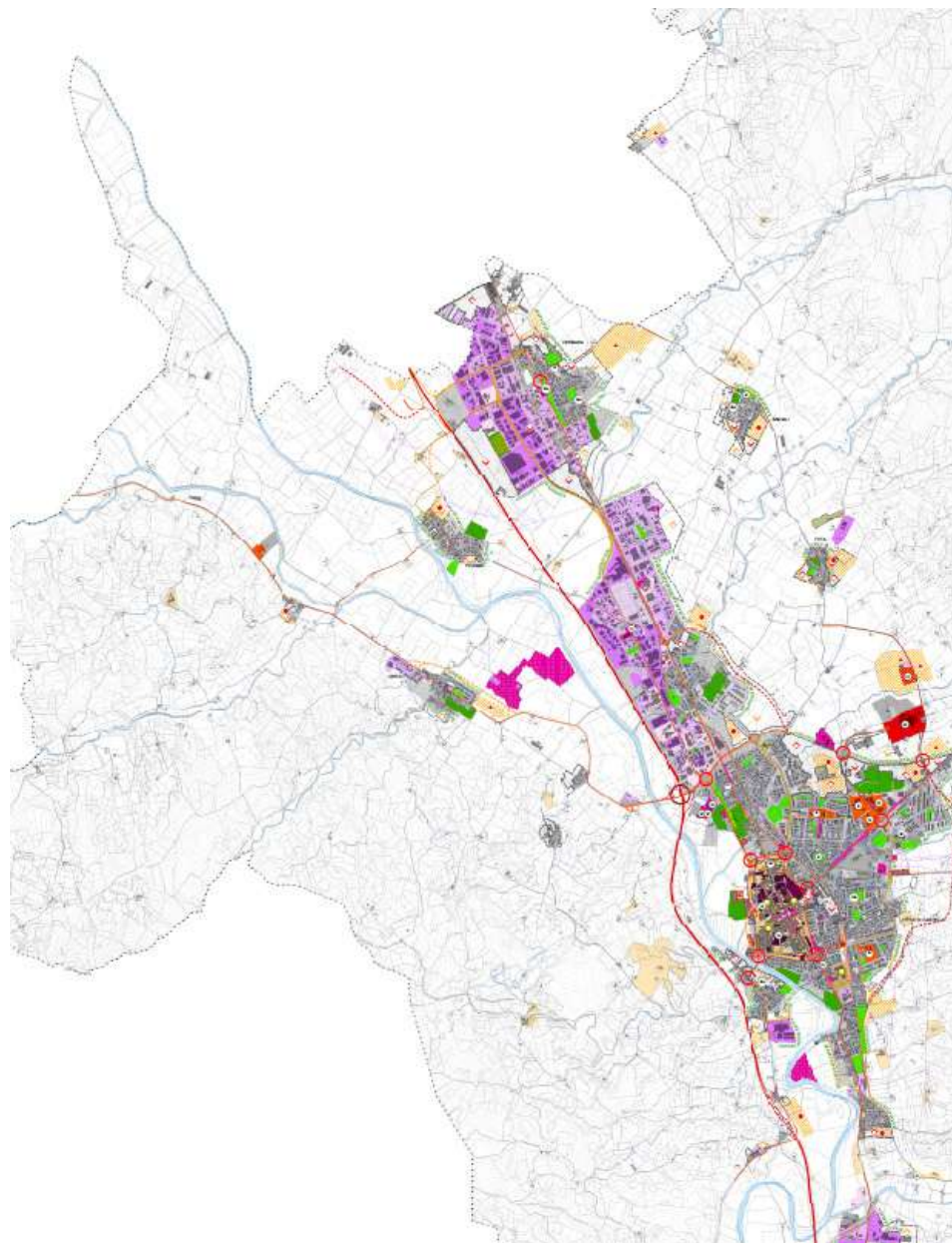
Vengono demandate infine al PRG-Parte operativa le previsioni di dettaglio e le indicazioni normative specifiche. Il PRG-PO ha il compito di promuovere e disciplinare la riduzione delle criticità della SUM anche tramite meccanismi compensativi e incentivanti (L.R. 1/2015, art.38). Il principale ambito in cui questi meccanismi possono essere previsti è quello della messa in sicurezza del patrimonio edilizio privato esistente, che si trova in condizione di potenziale criticità rispetto a tratti di viabilità strategica, in quanto le fronti edificate sono prospicienti a infrastrutture classificate come strategiche. Tali meccanismi possono essere attivati sia in forma diretta che in forma indiretta nel caso di interventi che ricadono all'interno di ambiti di trasformazione/riqualificazione.

La possibilità di contribuire con la maggiore efficacia possibile alla riduzione della vulnerabilità sismica urbana complessiva e al miglioramento della SUM di progetto è affidata a specifiche indicazioni progettuali, all'interno degli

⁴³ La necessità di mettere in evidenza le caratteristiche di vulnerabilità sismica a scala territoriale, ovvero ad una scala più ampia rispetto a quella del solo centro capoluogo, ha portato all'individuazione della Struttura Territoriale Minima, di valenza strategica, la cui messa in sicurezza è rilevante ai fini della tenuta stessa della SUM del capoluogo e degli altri centri relazionati a tale struttura territoriale (PRG-Parte Strutturale, Relazione Generale).

ambiti di trasformazione o di operazioni complesse. Dette indicazioni progettuali non hanno carattere prescrittivo, bensì prestazionale affinché le previsioni possano portare ad un effettivo contributo al rafforzamento di una parte del sistema strategico rappresentato dalla SUM.

Figura 4.5| Carta della Struttura urbana minima, quadrante di Nord-ovest.
Fonte: PRG-PO. Elaborati gestionali del PRG-PO.



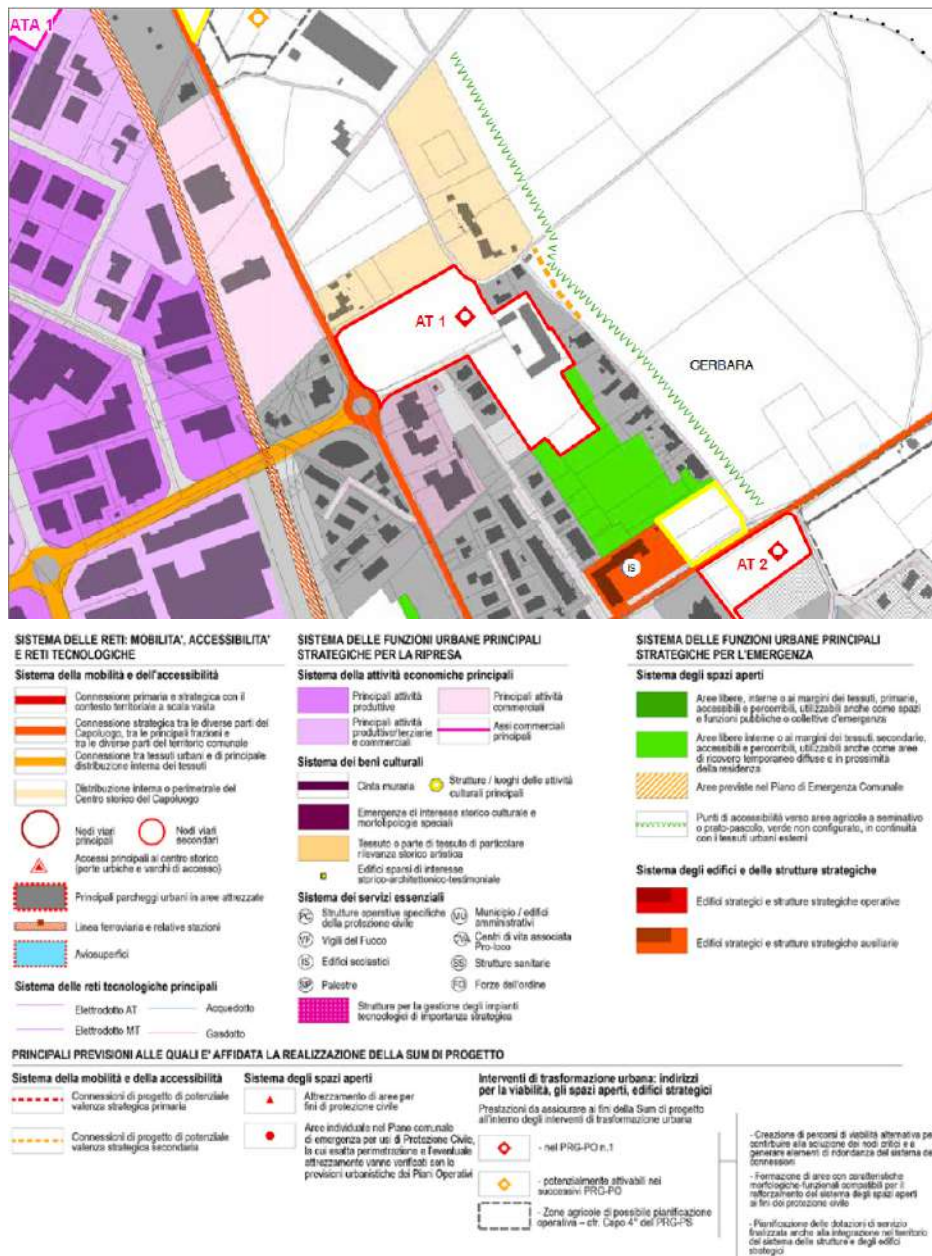
Le trasformazioni previste dal PRG-PO dovranno essere analizzate in funzione delle interazioni con gli elementi strategici della SUM e caso per caso sarà necessario verificare l'applicabilità di dette trasformazioni in funzione delle indicazioni prestazionali previste dalle Misure per il rafforzamento della Struttura urbana minima.

L'individuazione delle componenti strategiche, la valutazione delle criticità della SUM e le indicazioni progettuali della SUM di progetto (Figura 4.6) sono sviluppate in funzione dell'articolazione degli elementi strategici del territorio di Città di Castello individuati in:

- Sistema della mobilità e dell'accessibilità: le criticità si distinguono in criticità localizzate dovute a dimensioni, morfologia, e caratteristiche altimetriche del percorso e dei nodi tra i percorsi o a particolari condizioni dei terreni circostanti e dei manufatti adiacenti; debolezze strutturali e sistemiche derivanti da debolezza sistemica del complesso dei percorsi la cui funzionalità può essere scarsa nel caso di sisma. In questo caso le principali prestazioni da soddisfare nel progettare le trasformazioni mirano a mantenere al minimo possibile le potenziali interferenze con le connessioni strategiche. In questo sistema assume notevole rilevanza la eliminazione delle criticità derivanti dai fronti edificati che possono condurre ad un incremento della criticità indotta. Una seconda prestazione consiste nel creare elementi di ridondanza del sistema, attraverso la messa in sicurezza di un percorso esistente o la progettazione di un nuovo percorso laddove quello esistente non sia sufficientemente sicuro o abbia caratteristiche morfologiche rappresentate da continui restringimenti, presenza di attraversamenti come viadotti, linee ferroviarie etc.
- Sistema delle strutture e degli edifici strategici: le criticità nel sistema derivano dal rapporto tra la perdita di funzionalità potenziale per un danneggiamento fisico, e la strategicità delle funzioni ospitate negli edifici e il loro potenziale affollamento. In questo caso la prestazione che deve essere assicurata da un edificio che ospita una funzione strategica è il mantenimento della sua operatività in caso di emergenza e quindi attraverso interventi di ristrutturazione degli edifici strategici esistenti secondo normativa vigente (Norme Tecniche per le Costruzioni).
- Sistema degli spazi aperti: le criticità di questo sistema derivano dal rapporto con gli altri due sistemi (livello di accessibilità degli elementi strategici; rapporti dimensionali e di ubicazione con le strutture strategiche). In questo caso la prestazione minima richiesta è l'accessibilità pedonale attraverso le vie di fuga, l'assenza di criticità indotte da manufatti o edifici interferenti. L'adeguamento di aree in trasformazione a queste caratteristiche può anche essere occasione per contribuire a costruire una rete di micro-percorsi ridondanti o vie di fuga locali. Non è necessario che questi spazi siano destinati ad uso esclusivo della funzione di area per attesa o ricovero, come previste e descritte dalla protezione civile: con l'obiettivo di integrare le funzioni di gestione dell'emergenza con la struttura urbana

ordinaria, tali luoghi possono assumere una funzione il cui assetto sia compatibile con le prestazioni descritte, ad esempio per verde pubblico, parcheggi, aree per mercati.

Figura 4.6| Indirizzi e misure per la SUM di Cerbara. Fonte: PRG-PO. Pianificazione operativa delle trasformazioni. Repertorio delle trasformazioni



La Figura 6 rappresenta un esempio degli indirizzi e delle misure adottate in un ambito di trasformazione urbana che si trova in collegamento diretto con una componente del Sistema della mobilità, classificata come Connessione strategica (PO) tra le diverse parti del Capoluogo. Gli interventi per la realizzazione dell'ambito di trasformazione dovranno tenere conto di tale elemento, evitando qualsiasi incremento della criticità indotta su tale

percorso (come l'inserimento di manufatti a ridosso della viabilità) e contribuendo alla riduzione di eventuali criticità riscontrate.

Con la successiva L.R. 1/2015, il PRG-PO (art. 21, c.2, lettera d) promuove le azioni per la riduzione delle criticità della SUM, attraverso meccanismi premiali e incentivanti, stabilendo forme di incentivo urbanistico per effettuare interventi di riduzione della vulnerabilità edilizia e di aggregato sugli edifici interferenti con le aree strategiche individuate dalla SUM⁴⁴.

Il meccanismo premiale si esprime attraverso il riconoscimento di incrementi di quantità edificatorie, rispetto alle quantità di base attribuite secondo indici perequati inerenti alla proprietà. Questo meccanismo si applica in sede attuativa in modo da consentire all'Amministrazione, con la collaborazione volontaria della proprietà privata, la possibilità di attivare politiche diffuse di qualità urbana. Può essere applicata anche in sede di attività edilizia nel caso di interventi ad attuazione diretta o diretta condizionata ad atto d'obbligo⁴⁵, allo scopo di favorire la rigenerazione e la riqualificazione edilizia e ambientale e la prevenzione sismica.

Infine attraverso piani e programmi di settore sono eventualmente precisati i riferimenti programmatici e normativi, gli aspetti economico-finanziari,

⁴⁴ Le forme di incentivo urbanistico premiale, per interventi di riduzione della vulnerabilità di edifici o di aggregati si distinguono in funzione del tipo di tessuto.

- a. Tessuti del centro storico del Capoluogo: i) quando gli interventi coinvolgono un intero aggregato strutturale con un progetto unitario, l'incentivo è pari a 5 mq di SUC ogni 100 mq di SUC in cui si interviene; ii) quando l'intervento riguarda gli aggregati interferenti con le componenti della SUM, la SUC riconosciuta è di 3 mq ogni 100 se si interviene su singole unità strutturale, di 10 mq ogni 100 se si interviene su aggregati strutturali.
- b. Tessuti prevalentemente residenziali della Città consolidata o in via di consolidamento: i) quando gli interventi coinvolgono singole unità strutturali, l'incentivo è pari a 3 mq di SUC ogni 100 mq di SUC esistente su cui si interviene; ii) quando l'intervento riguarda un intero aggregato strutturale, la SUC riconosciuta è di 5 mq ogni 100 mq di SUC esistente su cui si interviene.
- c. Tessuti prevalentemente per attività della Città consolidata o in via di consolidamento: in caso di interventi di riduzione della vulnerabilità di edifici che rientrano tra le componenti del Sistema delle attività economiche principali della SUM o che risultano interferenti con gli elementi delle analisi delle CLE, si definiscono le seguenti forme di incentivazione: i) quando gli interventi coinvolgono singole unità strutturali, è riconosciuto un incentivo di SUC massima realizzabile pari a 8 mq per ogni 100 mq di SUC esistente su cui si interviene; ii) la SUC derivante dall'incentivo è realizzabile in sito, qualora ne ricorrano le condizioni, ovvero negli Ambiti di Trasformazione per Attività con capacità di accoglienza di quantità edificatorie di trasferimento.

⁴⁵ Il Piano utilizza due forme di modalità attuativa delle previsioni:

- Attuazione diretta ordinaria corrispondente al titolo abilitativo ordinario, accompagnato ove previsto dalla disciplina di PRG da atto d'obbligo relativo alle destinazioni d'uso dei suoli e dei manufatti, alla predisposizione dei parcheggi pertinenziali, alle sistemazioni delle aree di pertinenza;
- Attuazione diretta condizionata corrispondente al caso in cui il rilascio del titolo abilitativo relativo ad un intervento sia condizionato alla stipula preliminare di apposita convenzione o atto d'obbligo per regolare i rapporti connessi alla realizzazione di interventi nonché delle opere infrastrutturali e di urbanizzazione; in particolare i proprietari si impegnano a realizzare piccole porzioni di opere di urbanizzazione necessarie al funzionamento dell'intervento da realizzare.

ulteriori approfondimenti conoscitivi e gli interventi di dettaglio per l'incremento di funzionalità della SUM.

La Struttura Urbana Minima si configura dunque sia come un elemento gestionale del PRG, ma anche previsionale: infatti l'individuazione delle componenti che costituiscono la SUM è finalizzata a definire un insieme sistematico di azioni e di interventi urbanistici strategici e integrati sia pubblici, che pubblico-privati, che devono far parte dell'ossatura delle previsioni del Piano. L'obiettivo è quello di integrare sinergicamente le azioni 'ordinarie' sulle componenti strutturali del territorio e la loro valenza in termini di riduzione della vulnerabilità.

4.6 Lo Schema di Massima del Nuovo PRG di Messina

La Variante Generale del Piano Regolatore Generale del Comune di Messina, ancora vigente, è stata approvata nel 2002 e adottata in ridimensionamento della precedente variante generale al PRG c.d. Tekne⁴⁶, adottata nel 1990 e pertanto sviluppata secondo logiche, previsioni e criteri del tutto inattuati. Nel 2012, il Consiglio Comunale ha approvato le Direttive Generali del Nuovo PRG della Città di Messina, sulla base delle due leggi urbanistiche regionali, la L.R. 71/78 e la L.R. 15/91. Quest'ultima introduce tre fasi principali nella stesura del PRG:

- Stesura delle Direttive Generali e loro approvazione da parte del Consiglio Comunale;
- Redazione dello Schema di Massima e determinazione del Consiglio Comunale;
- Stesura del PRG ed adozione in Consiglio Comunale.

Lo Schema di Massima ha un significato estremamente importante, in quanto, secondo la Circolare ARTA 2/2000 esso è da intendere come:

«una sorta di pre-piano, redatto sulla base dei supporti geologico e agricolo-forestale [...]. Deve inoltre contenere elaborazioni abbastanza avanzate al fine di pervenire a proposte sufficientemente definite, tali da mettere il Consiglio Comunale in condizioni di scegliere gli ambiti delle prescrizioni esecutive. Il progetto definitivo del PRG risulta di conseguenza, essere un approfondimento dello Schema di Massima» (Città di Messina, Piano Regolatore Generale, Schema di Massima, Marzo 2012).

Tra le venti Direttive Generali del Nuovo PRG della città di Messina è presenta la voce 'Difesa dal rischio sismico ed idrogeologico':

⁴⁶ Il Piano Tekne, adottato nel 1976 ed approvato nel 1978, ha disciplinato l'originario Piano Borzì risalente al 1910, e le aree esterne allo stesso Piano Borzì, in parte già edificate. La crescita del territorio urbanizzato, al di fuori del Piano Borzì, avendo ad oggetto solo insediamenti residenziali, è rimasto privo dell'ossatura urbana che deve avere un P.R.G.

«...obiettivo fondamentale del nuovo PRG dovrà essere quello di contenere e ove possibile eliminare i livelli di rischio esistente attraverso tre strumenti:

- Un uso del suolo prudente;
- Messa in sicurezza del territorio per la difesa dal rischio idrogeologico;
- Messa in sicurezza delle infrastrutture, dei centri abitati e del patrimonio edilizio» (Città di Messina, Piano Regolatore Generale, Schema di Massima, Marzo 2012).

Messina, come molte altre città della penisola italiana, è caratterizzata da un elevato livello di esposizione a differenti rischi, in parte amplificati ed esasperati a causa dei caratteri dell'urbanizzazione novecentesca.

Nell'ottica della costruzione di una città resiliente e sempre meno pervasiva dal punto di vista edilizio, la Variante di salvaguardia ambientale⁴⁷ ha lo scopo di informare lo Schema di Massima del Nuovo PRG e allo stesso tempo costituisce una svolta sostanziale nella pianificazione urbanistica della città. In questa direzione infatti l'Amministrazione Comunale ha avviato un percorso virtuoso che si è manifestato nelle seguenti scelte:

- La carta integrata dei rischi in grado di superare la connotazione inventariale del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico), il quale registra principalmente i fenomeni già avvenuti. La carta integrata dei rischi è sviluppata in funzione delle informazioni di cui dispone oggi la città (PAI, Faglie e Microzonazione sismica di livello 1, Rischio idrogeologico, Rischio Tsunami e Studi di valutazione sullo stato dell'ambiente). Ognuno di questi strati informativi è indipendente e conseguentemente sempre aggiornabile. La loro interpretazione ottenuta sovrapponendo i diversi layer di informazione

⁴⁷ Con Deliberazione n. 15/C del 23/02/2012 avente ad oggetto "Variante parziale alle Norme di attuazione per il miglioramento delle condizioni di sicurezza del territorio comunale", il Consiglio Comunale ha adottato l'integrazione delle Norme di Attuazione del vigente PRG, subordinando l'edificazione a studi di compatibilità idrogeologica e sismica per specifiche aree classificate nello studio geologico a supporto del vigente PRG.

Successivamente con Deliberazione Consiliare n. 74/C del 25/10/2012 avente per oggetto "Abbattimento totale o parziale degli indici di edificabilità delle zone a bassa suscettività edificatoria. Facoltà di rinuncia/trasferimento dei volumi edificabili. Misure di salvaguardia ambientale. Integrazioni a Regolamento Edilizio", il Consiglio Comunale ha dato mandato al Dipartimento di Pianificazione Urbanistica di predisporre la Variante di Salvaguardia Ambientale che ha come obiettivo principale la riduzione o il totale abbattimento (fino a 0,03 mc/mq) degli indici di edificabilità previsti sulle aree che, sulla base della sovrapposizione operata fra la carta della suscettività edificatoria e le zone edificabili, ricadono in alcune particolari aree indicate nello studio geologico come a rischio e ciò ai fini della riduzione del rischio sismico, idraulico e geologico.

Infine per favorire corretti processi di densificazione urbana e ridurre il rischio sismico, idraulico e geologico il Consiglio Comunale ha dato mandato al Dipartimento delle Politiche del Territorio di predisporre la "Variante Parziale di Tutela Ambientale al vigente PRG".

La Variante Parziale di Tutela Ambientale, ancora non è ufficializzata con atto pubblico.

- georeferenziata consente di ottenere una mappa globale del rischio, tale da definire le invarianti del territorio rispetto alla loro pericolosità;
- La redazione di una *Variante parziale di tutela ambientale* che si basa sulla Carta integrata dei rischi ed è sviluppata in sinergia con il Piano di Protezione Civile. La Variante parziale ha una funzione strategica molto rilevante in quanto interviene sul vigente PRG ed in particolar modo modifica la zonizzazione di 800 ha di zone di completamento ed espansione, attraverso il declassamento delle potenzialità edificatorie in situ con l'eliminazione di circa 2.800.000 mc di volume e la previsione di meccanismi di trasferimento compensativo in aree geologicamente sicure;
 - L'avvio dell'iter di redazione del Nuovo PRG che avrà fra i temi principali la regolamentazione dei diritti edificatori, che non possono essere cancellati attraverso il declassamento dalle zone di espansione a rischio, ma verranno trasferiti in aree sicure dal punto di vista geomorfologico e idrogeologico; l'eventuale demolizione dei volumi già esistenti e che insistono in aree a più alto rischio, da ricostruire in aree geologicamente sicure e la messa in sicurezza dei volumi in aree a rischio basso, attraverso adeguate premialità urbanistiche e fiscali. Inoltre sono previste forme di defiscalizzazione quali eliminazione/riduzione degli oneri di urbanizzazione e defiscalizzazione totale o parziale degli interventi di ristrutturazione nel caso di adeguamento del patrimonio edilizio esistente in zone a rischio medio-basso finalizzate ad esempio alla riduzione del rischio delle parti degli edifici più esposte (modifica degli usi abitativi ai piani terra a favore di usi non abitativi e recupero premiale di SUL in parti degli edifici più sicure ai piani superiori);
 - La definizione di una Struttura Urbana Minima destinata a garantire adeguate vie di fuga, aree di ammassamento e ricovero nella fase dell'emergenza, sviluppata di concerto con la Protezione Civile. La SUM ha anche il compito di identificare la rete dello spazio pubblico primario caratteristica dell'identità della città.

Tra questi indirizzi adottati dall'Amministrazione Comunale, quella della *Variante parziale di tutela ambientale* si colloca nel più ampio progetto di densificazione urbana e di riduzione totale del consumo di suolo, al fine di convogliare con un'unica attività ordinaria e programmatica le istanze di riduzione del rischio sismico, idraulico ed idrogeologico con gli obiettivi di sviluppo sostenibile della città di Messina.

Il progetto di Variante mira inoltre alla declassificazione di quelle Zone Territoriali Omogenee, che si trovano in aree a criticità ambientale alta per le quali il Piano Regolatore vigente indicava la possibilità di ulteriore

edificazione, trasformandole da zone edificabili a zone prive o a basso indice di edificabilità (comunque mai superiore a 0,03 mc/mq).

La variante viene in questo modo sviluppata sovrapponendosi al vigente PRG, in attesa dell'iter di redazione del Nuovo PRG.

Ai fini della redazione dello Schema di Massima, viene sviluppata la Carta integrata dei rischi e della suscettività alla trasformazione urbanistica o della suscettività all'edificazione.

La Carta (Figura 4.7) rappresenta uno strumento conoscitivo fondamentale per la redazione del nuovo strumento urbanistico, realizzata sulla base della sovrapposizione della carta dei vincoli sovraordinati, delle pericolosità geologiche e della Microzonazione sismica di livello 1. Attraverso un unico elaborato viene restituito un quadro sintetico di vulnerabilità del territorio necessario ad indirizzare scelte di prevenzione strategiche sul territorio.

Il risultato è una mappa multi-rischio, in cui le aree del territorio sono scandite dalla tipologia di rischio su esse gravanti: una mosaicatura di poligoni a diverso grado di rischio (alto-medio), ognuno dei quali rappresenta una o più pericolosità che si sovrappongono.

Tutte le pericolosità che si sovrappongono in una stessa zona definiscono un livello di rischio omogeneo in termini di risposta di azione di piano, ovvero di suscettività d'uso dell'area in questione. Ogni poligono che individua un livello di pericolosità non si limita a rappresentare quell'areale soltanto, ma vengono inoltre inglobate le aree di influenza dei fenomeni: questo al fine di individuare degli scenari (effetti al suolo) plausibili sotto vari condizionamenti oggettivi esistenti e le tendenze geomorfologiche attive.

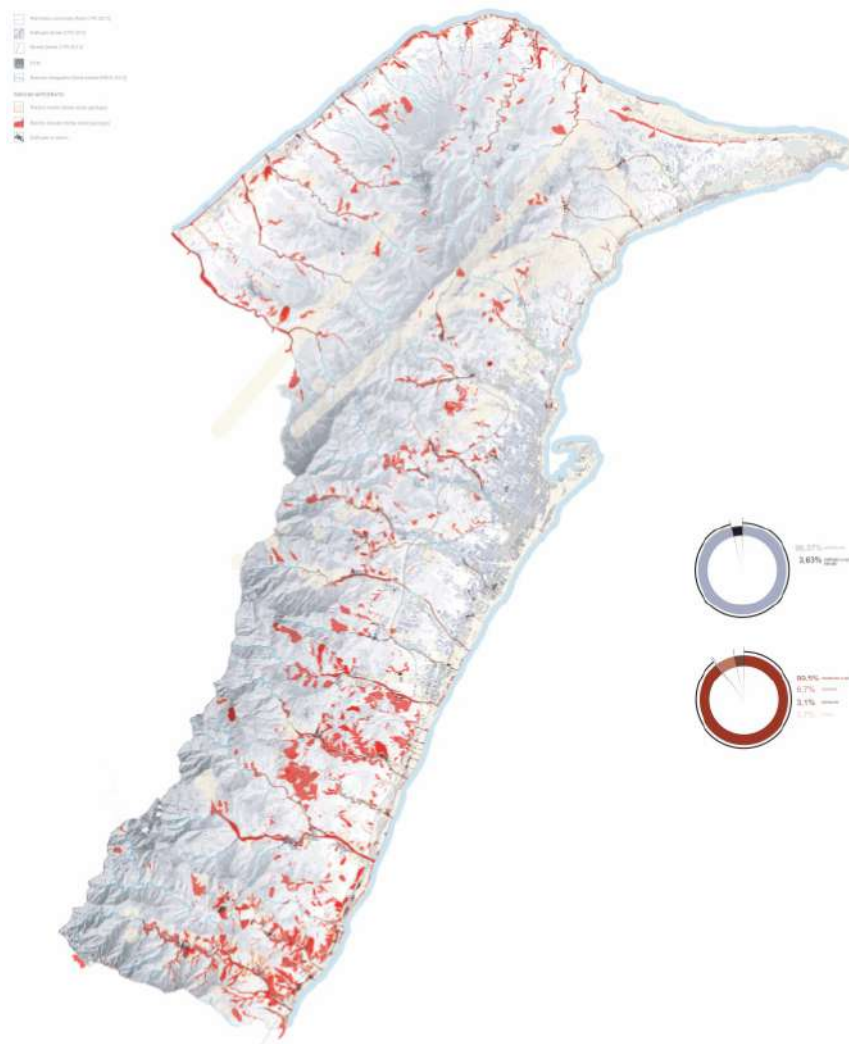
La Carta dei rischi dunque assume un significato importante in quanto non si limita a fissare e inventariare la situazione attuale, ma ha un carattere previsionale, sviluppando un approccio al problema del rischio che evidenzia problematiche territoriali in riferimento ai suoi processi esogeni oltre che endogeni.

Sulla base del livello di rischio omogeneo, standardizzato per livello di pericolosità geologica, idraulica e idrogeologica e sismica preliminarmente individuati, viene assegnata la classe di fattibilità/suscettività all'edificazione (Circolare ARTA n. 3/2014). La coincidenza per la stessa zona di territorio di più pericolosità geologiche elevate comporta maggiori restrizioni e definisce poligoni a comportamento misto, seppur la classe di rischio resta la medesima. La carta evidenzia le aree non idonee all'edificazione in quanto soggette a rischi naturali inaccettabili (aree indicate in rosso) e aree idonee, previa la realizzazione di interventi di mitigazione del rischio (aree in giallo).

Le informazioni dovranno confluire nel nuovo strumento di regolamentazione e pianificazione urbanistica di Messina, fondato su efficaci contromisure di

mitigazione del rischio e orientate alla sicurezza, sia delle aree insediate che di quelle insediabili.

Figura 4.7 | Carta integrata dei rischi e della suscettività alla trasformazione urbanistica. Fonte: Città di Messina, Piano Regolatore Generale, Schema di Massima



Lo Schema di Massima orienta, attraverso linee guida, la normativa di Piano che si fonda su un'articolata sintesi di eguaglianza dei diritti e di sostenibilità, precauzione e prevenzione. L'eguaglianza dei diritti si fonda, a sua volta, sulla necessità di garantire indifferenza di trattamento tra i proprietari interessati dalle scelte di pianificazione. I principi di sostenibilità, precauzione e prevenzione si fondano sull'esigenza sempre maggiore di salvaguardare le risorse energetiche e naturali, evitando nuovi usi del suolo, puntando sulla messa in sicurezza del territorio e del patrimonio edilizio.

Una perfetta sintesi dei principi sopra menzionati si modula sul tipo di interventi edilizi che il PRG individuerà, dal punto di vista attuativo: interventi urbanistici diretti (normati dalle Norme Tecniche per l'Attuazione e dal Regolamento Edilizio); interventi urbanistici preventivi caratterizzati da

diverse tipologie di piani, programmi, atti e disposizioni regolati da specifiche prescrizioni esecutive.

In particolare, negli interventi urbanistici preventivi sono individuate quelle parti della città e del territorio da riqualificare e rigenerare in modo intensivo, perché necessitano di un coordinamento urbanistico di dettaglio in ragione della loro complessità e del loro rilievo urbano, attraverso la perimetrazione di Ambiti di Rigenerazione Urbana e ambientale (ARU). Gli ambiti non hanno dimensioni eccessivamente grandi che rischiano di interessare anche parti di tessuto consolidato le quali non necessitano di prescrizioni di natura urbanistica, come spesso avveniva con il ricorso ai Piani Particolareggiati.

Tra gli ambiti che sono sottoposti a prescrizioni esecutive, nei quali cioè l'intervento edilizio è subordinato all'intervento urbanistico preventivo (attraverso Piani attuativi, Programmi integrati, Permesso di costruire convenzionato, Programmi di intervento e disposizioni di indirizzo) rientrano gli 'Ambiti ad elevata esposizione ai rischi e di decompressione urbanistica e rinaturazione incrementale'. In questi ambiti sono individuati gli edifici e i tessuti che ricadono in aree ad elevato rischio, come individuato nella Carta integrata del rischio e della suscettività alla trasformazione urbana.

Nella logica di un approccio alla prevenzione efficace, in questi ambiti sono previsti dispositivi incentivanti e premiali di natura urbanistica, finanziaria e fiscale utili a sollecitare trasferimenti compensativi dei volumi da demolire e non ricostruire in situ, ma negli ambiti individuati dal Piano non a rischio, attraverso una strategia coordinata di gestione e pianificazione degli altri ambiti di rigenerazione che si basi sulla programmazione della rinaturazione della aree interessate dalle demolizioni.

Lo Schema di Massima del nuovo PRG in buona parte già chiarisce quali saranno i meccanismi perequativi adottati ai fini delle modalità attuative. A questo scopo gli Ambiti di Equivalenza sono perimetrati in sede di progetto definitivo del PRG. Questi saranno articolati in modo tale da contenere i suoli ai quali verrà attribuito lo stesso Diritto edificatorio virtuale (Dev) espresso in metri quadrati di superficie utile lorda (SUL) per metro quadrato di superficie territoriale (St). Questo diritto virtuale viene riconosciuto ai proprietari dei suoli ricadenti negli Ambiti di Rigenerazione Urbanistica e Ambientale. Gli Ambiti di Equivalenza, a loro volta, ricadranno in quelle che in sede di progetto definitivo del PRG sono definite Regioni Economiche Urbane. I diritti edificatori variano in funzione delle Regioni Economiche Urbane. In generale il Dev degli ARU1 coinciderà con la SUL degli edifici esistenti. Il suo trasferimento in altri ambiti di rigenerazione urbana (per esempio di ristrutturazione urbanistica, densificazione, riciclo e recupero), dotati di indici di edificazioni perequativo potrà essere effettuato previa applicazione di un

apposito parametro correttivo in incremento o riduzione connesso ai valori delle diverse Regioni economiche urbane.

4.7 Indicazioni emergenti

I piani descritti evidenziano un approccio orientato all'introduzione della prevenzione nei meccanismi ordinari di pianificazione.

L'obiettivo da una parte è quello di introiettare la consapevolezza del rischio sismico a livello di conoscenza collettiva per facilitare processi volontari di mitigazione del rischio a livello dell'edificio da parte dei privati. Dall'altra l'adozione di strumenti di pianificazione che facilitino, con specifiche metodologie di perimetrazione per ambiti omogenei di vulnerabilità e con opportuni meccanismi di premialità e incentivazione fiscale, misure di prevenzione in un quadro più ampio di sostenibilità degli insediamenti urbani. Alcuni approcci, come dimostrano il Piano di Città di Castello e le esperienze maturate nella Regione Umbria, hanno favorito forme consortili ed interventi unitari, per esempio con l'adozione dei PIR che privilegiano, con apposite politiche e meccanismi, gli interventi sul patrimonio edilizio partendo da valutazioni di tipo strutturale piuttosto che dalle singole unità immobiliari, considerando in particolare connessioni strutturali e interrelazioni tra le diverse parti di un edificio o un aggregato edilizio.

Inoltre vi è un orientamento generale verso l'adozione di meccanismi premiali e compensativi, inseriti in un più ampio quadro strategico di fattibilità degli interventi sopra descritti, che costituiscono la base per sviluppare e creare condizioni che da ciascun intervento generino benefici collettivi. Tra questi meccanismi rientrano anche i trasferimenti di cubatura, come indicato nello Schema di Massima del Nuovo PRG di Messina, in cui in funzione della Carta integrata del rischio e della suscettività alla trasformazione, se l'area è caratterizzata da condizioni di rischio molto alto, la cubatura viene trasferita in aree più sicure dal punto di vista geologico, senza trascurare interventi di rigenerazione delle aree da cui la cubatura proviene, se questo si dimostrasse utile o necessario alla riduzione del rischio a scala urbana.

Il Piano Strutturale Comunale di Faenza intreccia i temi di sicurezza, sostenibilità ed identità come obiettivi urbanistici indispensabili. L'integrazione tra sicurezza, progettazione e pianificazione territoriale si misura nel trasferimento delle indagini di pericolosità sismica locale in precise norme calibrate ai risultati degli studi effettuati. Questo avviene attraverso l'adozione del Piano Regolatore della Sismicità, elaborato conoscitivo fondamentale del Regolamento Urbanistico Edilizio del Comune di Faenza, con l'intento di orientare alcune importanti sperimentazioni che mirano, inoltre, a incrementare la consapevolezza collettiva del rischio. Infatti tra gli obiettivi strategici del PRS vi è quello di incentivare il principio della prevenzione innescando un processo diffuso di prevenzione dal basso.

Insieme con il precedente obiettivo, il PRS si propone di sviluppare la Condizione Limite per l'Emergenza, di concerto con la Protezione Civile in una visione dell'emergenza sempre meno 'settoriale' e sempre più associata alla pianificazione regolare. Inoltre la Struttura Urbana Minima, da mero strumento funzionale alla gestione dell'emergenza, diventa un elemento che si inserisce nel più ampio processo di pianificazione, grazie all'individuazione di specifiche forme di progetto, che scaturiscono da un'attenta analisi dei punti di carenza e debolezza della struttura urbana minima esistente, e consentono l'introduzione di alcuni principi, quali la ridondanza, necessari ai fini della riduzione della vulnerabilità sismica urbana, attraverso lo 'sdoppiamento' dei percorsi, delle funzioni e delle attività.

Nello Schema di Massima del Nuovo PRG di Messina, il rischio si misura sia sulla base dello stato corrente (con un approccio inventariale) dei pericoli esistenti sia sulle previsioni future (sulla base della storia del territorio e dei pericoli che si innescano in conseguenza di un fenomeno pericoloso), grazie ai quali definire e comprendere quale sia la suscettività di trasformazione del territorio. In questo modo le informazioni sui livelli di pericolosità del territorio (dedotte dalla Relazione Geologica) vengono tradotte in informazioni utili alla definizione delle scelte di uso del suolo.

In questa dimensione si inseriscono le politiche introdotte nei due esempi internazionali riportati, in cui è evidenziata la rilevanza dello strumento di pianificazione urbana nelle politiche di mitigazione e riduzione del rischio.

Le mappe di rischio non sono delle indagini 'calate' aprioristicamente sul territorio, come potevano essere le carte di pericolosità: esse sono piuttosto definite in relazione a specifici usi del suolo, diventando uno strumento non solo conoscitivo ma anche strategico per la definizione di modalità di intervento che si basano sul livello di rischio individuato, attraverso livelli di controllo variabili da parte dell'amministrazione.

Gli esempi presentati costituiscono una base di partenza per l'integrazione dei processi di governo del territorio e di prevenzione e mitigazione dei rischi.

Riferimenti bibliografici

Bay of Plenty Regional Statement, Strategic Policy Publication (2014) ISSN11764112.

Bay of Plenty Regional Policy Statement (2018) – Part three: Policies and methods.

Bay of Plenty Regional Policy Statement (2018) – Appendix K: The Natural Hazards Risk Management Policy Framework.

Bay of Plenty Regional Policy Statement (2018) – Appendix L: Methodology for risk assessment.

Bay of Plenty Regional Policy Statement (2018) – Appendix M: Natural Hazards Risk Reduction Measures.

Chevalier J.M., D.J. Buckles (2013), *Participatory Action Research: Theory and Methods for Engaged Inquiry*, Routledge UK.

Di Pasquale G., G. Orsini (1997), Proposta per la valutazione di scenari di danno conseguenti ad un evento sismico a partire dai dati Istat, In 8° *Convegno Nazionale Anidis "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Taormina.

Di Salvo G., M. Giuffré, P. Pellegrino B. Pizzo (2012), Prevenzione e ricostruzione per la riduzione del rischio sismico, In *Planum. The Journal of Urbanism* n.25 vol.2.

Dolce M. (2019), Scala Macrosismica Europea 1998, Prefazione all'edizione italiana, In Tertulliani A., Azzaro R., Buffarini G. (Eds.), Ministero de la Culture, de l'Enseignement Superieur et de la Recherche, Conseil De L'Europe, In *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*.

EMS (1998), European Macroseismic Scale; Conseil de l'Europe, European Seismic Commission; EMS: Luxembourg.

Piano Regolatore Generale, Comune di Città di Castello (2018), Parte Strutturale, Relazione Generale.

Piano Regolatore Generale, Comune di Città di Castello (2018), Parte Operativa, Misure per il rafforzamento della struttura urbana minima.

Piano Regolatore Generale, Città di Messina (2012), Schema di Massima

Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile (2009), Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica (AeDES).

Piano Strutturale Comunale Associato - PSCA (2010), Faenza – Brisighella - Casola Valsenio - Castel Bolognese - Riolo Terme – Solarolo, Progetto, Relazione Illustrativa.

Regolamento Urbanistico ed Edilizio – RUE (2014), Comune di Faenza – Il Piano Regolatore della Sismicità.

Queensland Reconstruction Authority, Planning for stronger, more resilient foodplains, Part 1 - Interim measures to support floodplain management in existing planning schemes.

Queensland Reconstruction Authority – QRA (2011), Planning for stronger, more resilient foodplains, Part 2 - Measures to support floodplain management in future planning schemes.

Saunders W., Kilvington M. (2016), Innovative land use planning for natural hazard risk reduction: A consequence-driven approach from New Zealand, In *International Journal of Disaster Risk Reduction* 18: 244–255.

Saunders W. S. A., B. Morris, J. G. Beban, D. H. Mieler, T. Taig, C. I. Massey (2014), Case studies on national and international approaches to risk reduction through land use planning, In *GNS Science Report 2014/46*, 67 p.

Standards Australia/New Zealand, Risk Management Guidelines, Companion to AS/NZS 4360:2004, Standards Australia/Standards New Zealand, Wellington, 2004, p. 120.

Riferimenti normativi

Legge Regionale Emilia Romagna n. 20 del 24 marzo del 2000, 'Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio'.

Norme Tecniche delle Costruzioni - NTC (2008), Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, DM 14 gennaio 2008. Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 – Supplemento Ordinario n. 30.

Legge 30 marzo 1998, n.61, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 30 gennaio 1998, n. 6, recante ulteriori interventi urgenti in

favore delle zone terremotate delle regioni Marche e Umbria e di altre zone colpite da eventi calamitosi, Gazzetta Ufficiale n. 75 del 31 marzo 1998.

Legge Regionale 22 febbraio 2005, n. 11, Norme in materia di governo del territorio: pianificazione urbanistica comunale, Regione Umbria.

Deliberazione della Giunta Regionale 8 febbraio n.164 del 2010, BUR supplemento ordinario 1 al "Bollettino ufficiale", serie generale n.15 del 31 marzo 2010.

Legge Regionale 21 gennaio 2015, n.1, Testo unico Governo del territorio e materie correlate, Bollettino Ufficiale n. 6 S.o. n. 1 del 28/01/2015.

Legge Regionale 27 dicembre 1978 n. 78, Norme integrative e modificative della legislazione vigente nel territorio della Regione Siciliana in materia urbanistica, Gazzetta Ufficiale Regione Sicilia 30 dicembre 1978, n. 57.

Legge Regionale 30 aprile 1991 n. 15, Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 27 dicembre 1978 n. 71, in materia urbanistica e proroga di vincoli in materia di parchi e riserve naturali, Gazzetta Ufficiale Regione Siciliana 4 maggio 1991, n. 22.

Circolare ARTA 11 luglio 2000 n. 2, Indirizzi per la formazione degli strumenti urbanistici generali e attuativi, Gazzetta Ufficiale Regione Siciliana 29 settembre 2000, n.44.

Circolare ARTA 20 giugno 2014 n.3, Studi geologici per la redazione di strumenti urbanistici, Gazzetta Ufficiale Regione Siciliana 11 luglio 2014 n. 28.

Sitografia

www.comune.faenza.ra.it/Guida-ai-servizi/Settore-Territorio/Il-Piano-Strutturale-Comunale-Associato-PSCA/Dall-idea-all-approvazione

<https://comune.messina.it/ufficio-stampa/variante-unattesa-di-cinque-anni-e-una-storia-lunga-quindecim-nota-dell'assessore-de-cola>

PARTE SECONDA

LA PROCEDURA METODOLOGICA

CAPITOLO 5 • L'articolazione metodologica | L'indagine alla scala metropolitana

5.1 Introduzione

La relazione tra l'approccio scientifico basato su modelli matematici e calcolo probabilistico e l'approccio sociale è stato riferimento teorico costante nell'ambito della ricerca: è proprio la loro considerazione contemporanea a essere stata ritenuta indispensabile in uno studio territoriale ed urbanistico che avesse come finalità la sicurezza individuale e collettiva nell'ottica della prevenzione dei rischi. Dall'apparato teorico fin qui analizzato emerge che i concetti di vulnerabilità fisico-funzionale del sistema urbano e di vulnerabilità sociale della componente umana siano trattati separatamente, complice la matrice disciplinare di origine. Un approccio integrato e multidisciplinare alla ricerca sulla vulnerabilità necessita il superamento di detti confini disciplinari, che da una parte studiano la vulnerabilità in termini di risposta ai pericoli naturali del sistema fisico, dall'altra in termini di risposta del sistema sociale (Yamin et al., 2005; Fenton et al., 2007).

La pianificazione territoriale in quanto disciplina che mira a collegare le conoscenze tecnico-scientifiche ed economico-sociali esplica la sua funzione di riferimento (sociale, istituzionale, economica) per orientare le decisioni dei soggetti istituzionali e sociali.

La lettura della città contemporanea richiede una molteplicità di livelli di indagine, incentrati su una conoscenza vasta e multidisciplinare, che rispondano alle esigenze di continua evoluzione non lineare della città e per i quali è necessario agire attraverso l'interpretazione di scenari o 'campi di probabilità'. La conoscenza, per dirla con Friedman (1987), è un fattore indispensabile nel governo delle trasformazioni e nella gestione dello sviluppo del territorio e l'azione che su di esso si compie rappresenta la conseguente verifica dell'efficacia sul territorio delle metodologie e analisi prefigurate. In questa cornice di senso, lo sviluppo e l'implementazione dei due riferimenti teorici si traduce in uno strumento metodologico che si configura come sintesi concettuale ed operativa.

La metodologia proposta si sviluppa in due fasi:

- Un approccio analitico di indirizzo strategico alla scala metropolitana: questa fase è assimilabile alla struttura analitico-conoscitiva propria del livello territoriale di indagine di area vasta e per questa ragione affiancabile alla pianificazione territoriale alla stessa scala.
- Un approccio alla scala di quartiere per la definizione di politiche urbane di mitigazione e riduzione del rischio sismico.

Le due fasi rappresentano una metodologia che declina nella dimensione metropolitana (di area vasta o provinciale) le esigenze di individuazione e di tutela delle risorse (umane e territoriali) esposte al rischio, grazie alla configurazione di scenari di rischio cui seguono delle ipotesi compatibili di uso del suolo, e nella dimensione locale gli strumenti operativi in grado di

riconoscere i caratteri specifici di ciascun luogo, agendo capillarmente in direzione *site-specific*, e traducendo le istanze di vulnerabilità socio-fisica in opportune politiche di mitigazione e adattamento del rischio.

La combinazione di pianificazione territoriale e gestione del rischio di disastri (*Disaster Risk Management*) rappresenta il punto di partenza per politiche di uso del suolo compatibili con la sicurezza e i principi di sostenibilità. Nella determinazione degli usi del suolo si pone l'obiettivo di raggiungere un utilizzo territoriale e delle risorse naturali ottimali al fine di minimizzare i disastri.

La prima fase metodologica si pone l'obiettivo di rispondere alla prima domanda di ricerca:

-É possibile sviluppare un'analisi del rischio che tenga conto contemporaneamente degli aspetti spaziali e a-spaziali della vulnerabilità? Quali sono le componenti di vulnerabilità che apportano un contributo decisivo alla conoscenza del rischio sismico?

Con un approccio *risk-based*, la ricerca individua gli ambiti territoriali dove si evidenziano delle prevalenze in termini di vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio urbano e di vulnerabilità socio-demografica al fine di orientare le politiche di riduzione e prevenzione del rischio sismico.

La seconda fase metodologica si pone l'obiettivo di rispondere alla seconda domanda di ricerca:

-É possibile rendere il rischio sismico un fenomeno di carattere sociale, attraverso l'adozione di strategie che contemplino gli aspetti 'oggettivi' e gli aspetti 'percettivi' del rischio? Quali indirizzi possono essere posti in essere attraverso una convergenza delle due strategie? Quali sono i risvolti utili per la pianificazione e quali le alternative di *policy* che gli attori locali possono vagliare per introdurre i meccanismi percettivi tra gli strumenti informativi del Piano?

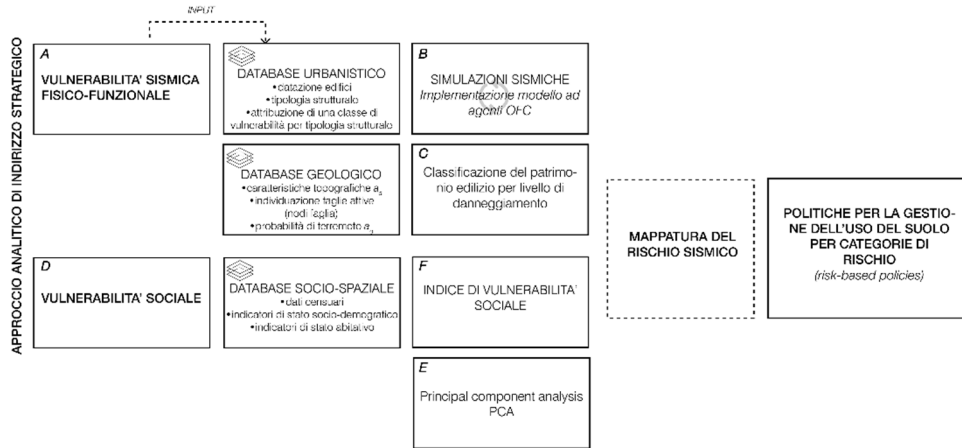
La metodologia adottata è uno strumento che consente di individuare le aree di conflitto tra percezione pubblica del rischio e rischio fisicamente inteso, individuando le *policy* da implementare per ridurre il divario e favorire l'attuazione degli interventi di prevenzione sismica (v. Cap. 6).

5.2 L'approccio analitico alla scala metropolitana

L'indagine alla scala metropolitana delinea un processo analitico che approccia il tema della prevenzione sismica per ambiti territoriali più che per convenzioni amministrative. Alla luce di questo, essendo la città metropolitana caratterizzata da una visione 'federativa' di unità insediative relativamente distanti e dotate di una propria individualità storica e amministrativa (Moccia, 2017), affrontare il tema della prevenzione sismica con una visione territoriale globale ha come obiettivo l'individuazione di ambiti coerenti di rischio verso cui indirizzare e allocare prioritariamente le risorse necessarie ad avviare i processi strategici di mitigazione e

adattamento ai potenziali effetti del sisma. Lo schema in Figura 5.1 riporta l'insieme dei principali *steps* della metodologia di seguito presentata.

Figura 5.1 | Schema dell'approccio analitico-strategico alla scala metropolitana



5.3 La vulnerabilità fisico-funzionale del patrimonio edilizio⁴⁸

Ai fini della valutazione del rischio sismico degli insediamenti urbani è necessario stimare la vulnerabilità sismica degli edifici all'interno dell'area di indagine. Questa stima necessita una conoscenza in profondità delle caratteristiche geometriche e meccaniche delle strutture resistenti di ogni edificio, oltre a richiedere il calcolo di appropriati coefficienti di sicurezza relativi ai possibili eventi sismici.

5.3.1. Modellazione ad agenti per riprodurre la complessità del fenomeno sismico.

La metodologia sperimentata nel corso della presente ricerca si basa sui modelli ad agenti di dinamica sismica, in cui gli eventi sismici sono simulati utilizzando il modello Olami-Feder-Christensen, OFC (Olami, Feder, Christensen, 1992) riconosciuto nella letteratura scientifica come uno strumento idoneo per simulare gli effetti di una sequenza critica di eventi sismici in un determinato intervallo di tempo nel contesto della dinamica *Self-Organized-Criticality*, SOC (Jensen, 1998). Il modello è in grado di riprodurre con buona approssimazione la fenomenologia di una sequenza sismica reale, assumendo che la crosta terrestre si auto-organizzi in uno stato critico. La presenza di comportamenti SOC in natura è stata studiata da Bak, Tang e Wiesenfeld (Bak, Tang e Wiesenfeld, 1987) e la dinamica dei terremoti può fornire una manifestazione fisica dell'idea di criticità auto-organizzata.

⁴⁸ Alcuni estratti del presente paragrafo sono contenuti nell'articolo in corso di pubblicazione: Fischer E., Barreca G., Greco A., Martinico F., Pluchino A., Rapisarda A. (2021), Seismic risk assessment of a large metropolitan area by means of simulated earthquakes.

Secondo questa teoria, molti sistemi dinamici a più componenti raggiungono autonomamente uno stato di estrema instabilità.

Attraverso un modello molto semplice vengono mostrate le proprietà principali della criticità auto-organizzata (*Sandpile model*). Il sistema, sottoposto a piccole perturbazioni, evolve verso uno stato critico: quando in questo stato, anche piccole perturbazioni (l'aggiunta di un granello di sabbia) possono causare delle valanghe (Carvalho e Prado, 2000). Il comportamento a valanga, così come l'invarianza di scala, sono state osservate sperimentalmente in varie situazioni in natura: nei terremoti (Gutenberg e Richter, 1956; Bak e Tang, 1989), nei sistemi magnetici (Durin et al., 1995), nell'evoluzione della specie (Bak e Snappell, 1993).

Jensen (Ibid.) sviluppa una disamina dei modelli ispirati a sistemi fisici, che presentano caratteristiche di criticità auto-organizzata. I modelli sono presentati in relazione ad una dinamica (la forza sismica nel caso del terremoto), che viene aggiornata ad ogni incremento temporale, in relazione ad uno specifico algoritmo. Il primo modello è stato il *Sandpile Model* che ispirò il proliferare degli altri:

- *Earthquake model*: sviluppato da Olami, Feder e Christensen nel 1992. La dinamica del modello si basa su una forza, come fattore locale di stress.
- *Lattice gas model*: utilizzato per descrivere le fluttuazioni nella densità delle particelle di un gas. Il modello è stato utilizzato per descrivere il moto dei vortici in un superconduttore (Yeh and Kao, 1984).
- *Forest fire model*: sviluppato da Drossel e Schwabl (1992). È stato adottato per modellare la diffusione del morbillo nella popolazione delle isole Bornholm e Faroe (Rhodes e Anderson, 1996).
- *Evolution model*: definito da Bak e Snappell (1993) al fine di evidenziare la connessione con i processi di evoluzione biologica.

Nella dinamica della *Self-Organized-Criticality* la distribuzione della dimensione degli eventi misurati obbedisce ad una 'legge di potenza'. La legge di potenza è una funzione matematica che nella sua forma generale si esprime:

$$f(x) = ax^k \quad (5.1)$$

dove k è l'esponente di scala.

La distribuzione di probabilità che obbedisce alla legge di potenza, denominata *power law distribution*, consiste nell'assenza di una scala caratteristica dei fenomeni. A questo tipo di distribuzione viene associata la distribuzione degli eventi sismici: considerando la magnitudo di un terremoto come prima misura indiretta dell'energia meccanica sprigionata da un evento sismico, si osserva che l'andamento del numero dei terremoti ad una data magnitudo segue una funzione di distribuzione nota come legge di Gutenberg e Richter (1956). La distribuzione ottenuta non è la classica curva di distribuzione gaussiana, ma una retta, che indica che quanto più violento è il sisma, tanto più esso è raro. È cognizione comune – oltre a essere un

dato storico – che i terremoti catastrofici sono molto più rari di quelli che avvengono più frequentemente e i sismologi registrano giornalmente sciame di micro-vibrazioni della nostra terra, segnalate solo dai sismografi; e le stesse micro-scosse, che generalmente precedono o seguono un terremoto violento, presentano una distribuzione 'a potenza'. La legge di Gutenberg-Richter, dunque, ricavata empiricamente, mostra la dinamica scala-invariante dei terremoti reali, confermandoli come fenomeni SOC.

5.3.2. Struttura di un Agent-based Model

La modellazione ad agenti consente di investigare i fenomeni caratterizzati dall'interazione di componenti, autonomi, interattivi e adattivi (Odell, 2007).

Gli agenti di un sistema complesso hanno delle particolari caratteristiche:

- sono *autonomi* perché capaci di agire senza intervento esterno diretto; hanno un certo grado di controllo del proprio stato interno e agiscono sulla base della propria esperienza;
- sono *interattivi* in quanto comunicano con l'ambiente e con gli altri agenti;
- sono *adattivi* in quanto sono capaci di rispondere agli altri agenti e all'ambiente circostante e sulla base della propria esperienza un agente può modificare il suo comportamento.

Tipicamente un modello ad agenti è composto da tre elementi fondamentali (Macal e North, 2010):

- un set di agenti, con particolari attributi o comportamenti;
- una serie di relazioni e criteri di interazione, caratterizzati da una topologia che ne rappresenta il livello di connessione e definisce come e con chi gli agenti interagiscono;
- un ambiente: gli agenti interagiscono con il loro ambiente e con altri agenti.

Gli agenti interagiscono generalmente con gli altri agenti, ma specificamente con un subset di agenti che sono i vicini.

La connessione di un agente con un altro è definita topologia o gradi di connettività. La topologia include (Macal e North, 2010):

- una rete o griglia di nodi (agenti);
- un certo numero di connessioni – *links*.

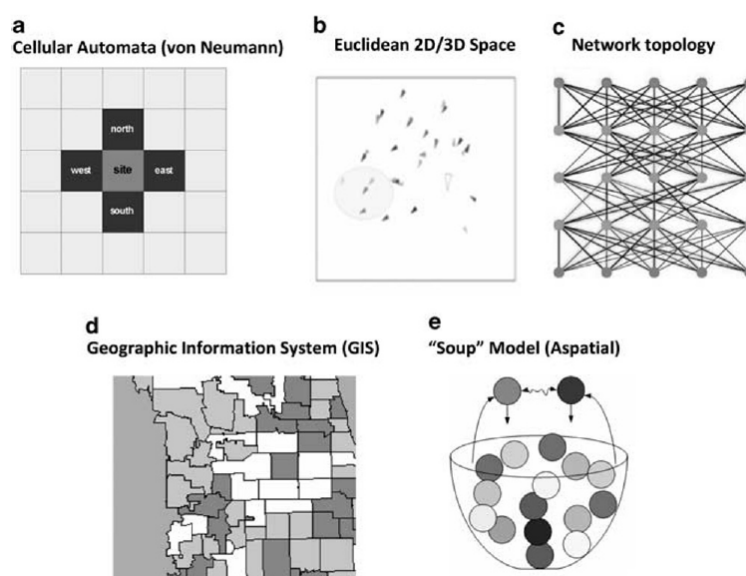
La progettazione della topologia consente di indagare quale agente scambia informazioni e con chi. Le prime impostazioni spaziali dei modelli ad agenti si basavano sulla forma degli automi cellulari (CA), nel *Conway's Game of Life* (Gardner, 1970), in cui ogni cella (nodo o agente) scambia informazioni con gli agenti immediatamente vicini di una griglia. Altre forme topologiche sono state individuate nei diversi modelli sviluppati (Figura 5.2).

- *Von Neuman*: la topologia dei 5 vicini;
- *Euclidean space model*: gli agenti si muovono in uno spazio bi/tri dimensionale;

- *Networks statici o dinamici*: nel primo caso le connessioni sono pre-impostate, nel secondo caso le connessioni sono determinate in maniera endogena in funzione della programmazione del modello;
- *Geographic Information System*: gli agenti si muovono da una patch ad un'altra in un contesto realistico;
- *A-spatial model*: gli agenti non hanno alcuna collocazione in quanto non necessaria per lo scopo del modello.

L'ambiente può essere utilizzato per fornire informazioni sulla collocazione spaziale di un agente o fornire un set completo di informazioni geografiche, come in ambiente GIS.

Figura 5.2| Alcune delle topologie che caratterizzano le relazioni tra agenti del modello. Fonte: Macal e North, 2010



Creare un modello ad agenti necessita l'identificazione, la modellazione e la programmazione dei nodi-agenti, della topologia, delle connessioni, delle regole di interazione, per cui è necessario un motore di calcolo che simuli il comportamento degli agenti e le loro reciproche interazioni.

Uno dei software adottati per la modellazione della complessità è il software programmabile *NetLogo*, sviluppato su piattaforma Java da Uri Wilensky nel 1999 al Center Connected Learning and Computer-Based Modeling (CCL) della Northwest University. Il software offre un ambiente idoneo per lo sviluppo di sistemi fisici, biologici o sociali in quanto è in grado di riprodurre la maggior parte delle caratteristiche dei sistemi complessi, seguendone l'evoluzione nel tempo (Wilensky, 1999).

Il programmatore, nella piattaforma *Netlogo*, può dare istruzione a migliaia di 'agenti' indipendenti che operano contemporaneamente ed esplorare le connessioni comportamentali al livello individuale (*micro-level*) verificandone le configurazioni emergenti dalla loro reciproca interazione.

5.3.3. Descrizione del modello Olami-Feder-Christensen

La presenza di una legge di potenza nell'osservazione empirica della dinamica dei terremoti (Gütemberg e Richter, 1956), consente di analizzare il fenomeno sismico attraverso uno dei modelli ad agenti in ambito SOC.

Il modello sviluppato da Olami, Feder e Christensen è caratterizzato da una griglia bidimensionale quadrata di lato L , con N nodi, ognuno connesso ai suoi quattro vicini. La dinamica sismica si origina nel momento in cui i nodi N della rete vengono caricati uniformemente da una forza sismogenica F_i (stress sismico). Questa forza è un numero reale nell'intervallo $[0, F_{th}]$; tutte le forze sui nodi crescono simultaneamente e uniformemente fino a quando uno di questi raggiunge un valore critico e diventa 'attivo': quando questo avviene la F_i viene portata a zero e una frazione α della forza sui nodi attivi viene trasferita ai nodi vicini, che di conseguenza si attivano e trasferiscono la forza agli altri vicini fino a quando la dinamica sismica si interrompe, producendo un terremoto di dimensione S .

Questa dinamica viene descritta secondo la relazione (5.2):

$$F_i \geq F_{th} \longrightarrow \begin{cases} F_i \rightarrow 0 \\ F_{jj} \rightarrow F_{jj} + \alpha F_i \end{cases} \quad (5.2)$$

in cui ' jj ' rappresenta il set di nodi più vicini al nodo ' i '.

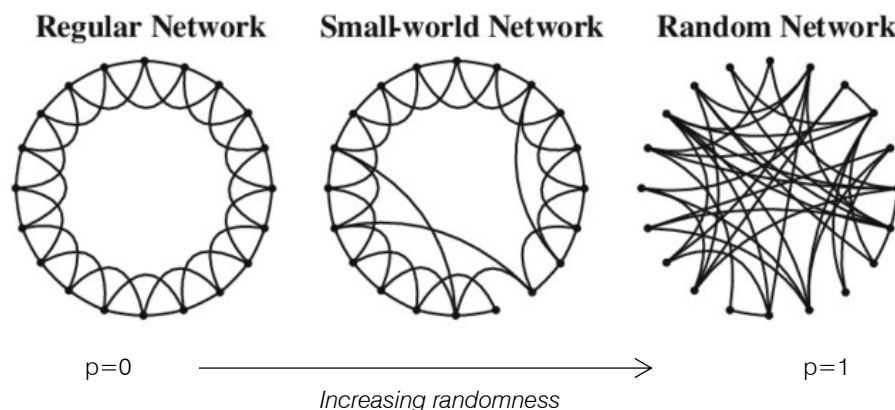
Il modello è conservativo per valori del parametro $\alpha = 0,25$ (tutta la forza F_i è trasferita ai quattro nodi vicini), è dissipativo per $\alpha < 0,25$.

Studiando la distribuzione della dimensione S dei terremoti, definita come il numero di nodi attivi (quelli sui quali la forza ha superato il valore critico), nel modello dissipativo, si riconosce la legge di Gütemberg-Richter. Dunque, il modello è in grado di riprodurre con un buon grado di approssimazione le dinamiche scala-invarianti dei terremoti reali.

A partire dalla semplice griglia regolare, il modello OFC è stato studiato su diverse strutture topologiche (Pluchino et al., 2006). In particolare, è stato osservato come l'introduzione di un certo numero di connessioni a lungo raggio nella rete descriva più accuratamente il sistema reale, considerando la possibilità che un terremoto possa provocarne altri non solo localmente ma anche a lunga distanza (spaziale e temporale).

Questa nuova struttura topologica, ottenuta riconnettendo casualmente una piccola percentuale di nodi prende il nome di rete *small-world* (Watts, Strogatz, 1998). La percentuale di legami trasformati da corto a lungo raggio è espressa dalla probabilità di riconnessione p , che varia da un minimo $p=0$ (*regular network*) a un massimo $p=1$ (*random network*); in generale si usa una p dell'ordine di 10^{-2} o 10^{-3} (Figura 5.3).

Figura 5.3| Schema topologico del grafo small world al centro. Fonte: Watts e Strogatz (1998)

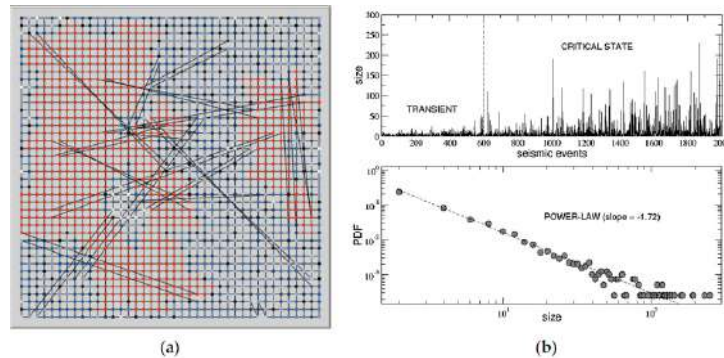


«Ordinarily, the connection topology is assumed to be either completely regular or completely random. But many biological, technological and social networks lie somewhere between these two extremes. [...] simple models of networks that can be tuned through this middle ground: regular networks 'rewired' to introduce increasing amounts of disorder. We find that these systems can be highly clustered, like regular lattices, yet have small characteristic path lengths, like random graphs. We call them 'small-world' networks [...] (popularly known as six degrees of separation)».

Il grafo *small-world*, introdotto da Watts e Strogatz (1998), è stato sviluppato osservando alcune caratteristiche dei sistemi complessi, costituiti da una struttura topologica con locali clusterizzazioni, e da un piccolo numero di connessioni a lungo raggio, a metà strada tra una topologia completamente regolare ed una completamente random.

In Figura 5.4 è riportato un generico modello di dinamica OFC nel software *Netlogo*. Il network nella parte sinistra rappresenta la rete *small-world* del modello OFC, in cui i punti rossi rappresentano i nodi che si sono attivati durante la dinamica e indicano la dimensione S dei terremoti. Il pannello a destra in alto (Figura 5.4b) riporta la dimensione S di una sequenza sismica di 2000 terremoti. Dopo una fase transiente di circa 600 eventi sismici, in cui la dimensione massima del terremoto coinvolge soltanto il 5% dell'intera rete, il sistema entra in uno stato critico in cui la dimensione media dei terremoti comincia a crescere, ed eventi molto grandi in intensità, che coinvolgono un numero crescente di nodi, hanno un'elevata probabilità di verificarsi. La presenza di un comportamento di criticità auto-organizzata (SOC) nella sequenza sismica è data dalla funzione di distribuzione della dimensione S del terremoto, rappresentata dalla legge di potenza con una pendenza di $-1,72$ (linea tratteggiata nel grafico in basso della Figura 5.4b)).

Figura 5.4 | Generico reticolo bidimensionale (a), dove i nodi in rosso sono i nodi attivati dalla dinamica sismica che hanno generato un terremoto di dimensione S. A destra in alto (b) il numero e la dimensione di 2000 terremoti, durante una routine della dinamica OFC in Netlogo e in basso la distribuzione della dimensione del terremoto.

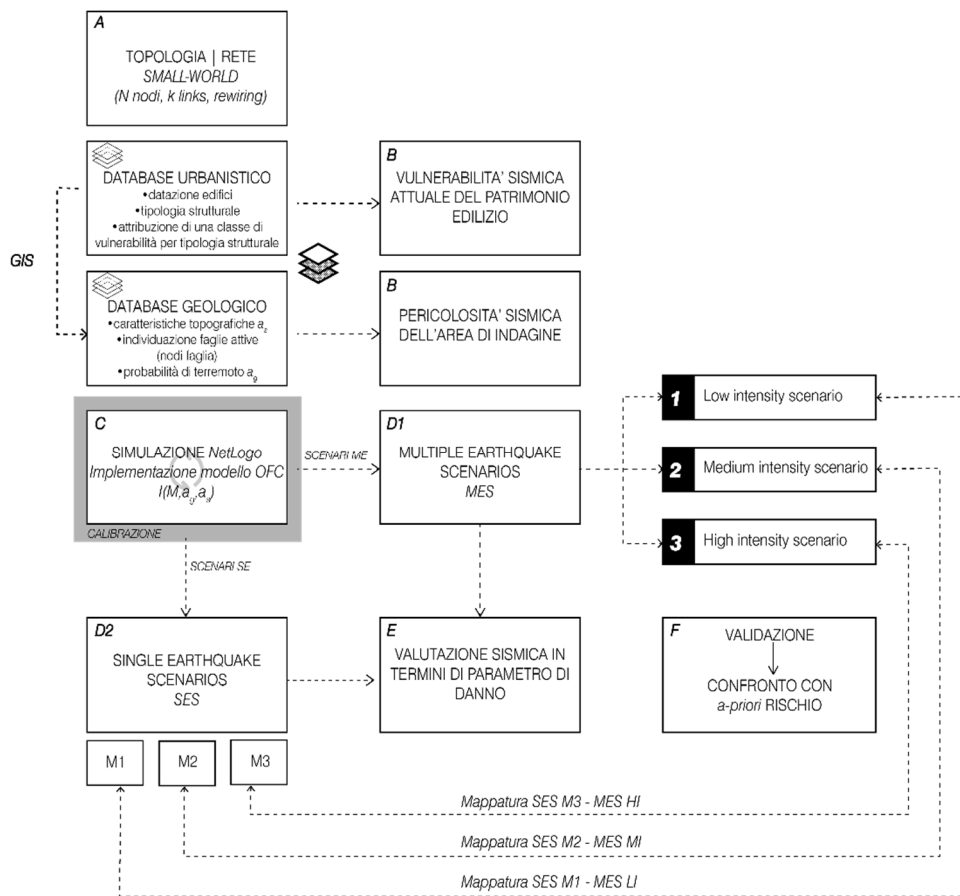


5.3.4. Procedura di implementazione del modello OFC per la simulazione di eventi sismici.

Nella presente ricerca viene sviluppata una versione modificata del modello OFC, attraverso l'introduzione di correlazione a lungo raggio che consentono di simulare la presenza di faglie sismogeniche all'interno della rete, introducendo dei particolari nodi (definiti 'nodi di faglia'), caratterizzati da una maggiore probabilità di attivazione durante la dinamica sismica.

Di seguito si riportano le fasi di implementazione del modello per la simulazione sismica di una data area geografica, secondo il diagramma in Figura 5.5.

Figura 5.5 | *Flowchart* del modello OFC di dinamica sismica per un'area metropolitana



A. Topologia small-world

La definizione della topologia è il primo passaggio dell'implementazione del modello OFC per la riproduzione delle caratteristiche SOC dei terremoti reali. La rete, dipendente dalle dimensioni dell'area di indagine, è sviluppata su un reticolo bidimensionale di lato L e altezza H , composta da N nodi e K links, con un numero di connessioni a lungo raggio.

Il modello di simulazione sismica si basa un database geografico composto da:

- Database del patrimonio edilizio urbano;
- Database geologico

dell'area di indagine, su supporto ArcGIS®.

Il database edilizio contiene informazioni relative a:

- Numero totale di edifici presenti nell'area di indagine;
- Anno di costruzione degli edifici;
- Tipologia strutturale;
- Classe di vulnerabilità in funzione della tipologia strutturale (v. punto B).

Il database geologico contiene informazioni relative a:

- Mappa della pericolosità sismica con riferimento all'accelerazione a_g ;
- Caratteristiche topografiche dell'area di indagine – parametro a_s ;

- Individuazione di faglie attive;

B. Valutazione della vulnerabilità sismica iniziale degli edifici

La vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio a scala urbana (v.Cap. 3, par. 3.2) richiede l'adozione di semplificazioni che consentano di analizzare, con un buon livello di approssimazione, il comportamento sismico degli edifici. Un modello per la valutazione macrosismica degli edifici esistenti, connesso alle caratteristiche strutturali è sviluppato da Lagomarsino e Giovinazzi⁴⁹ (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006), attraverso il quale vengono individuati degli opportuni *ranges* di vulnerabilità, $V_{min} - V_{max}$, per gli edifici in muratura portante e per gli edifici in cemento armato (Tabella 5.1). La tabella mostra la variazione della vulnerabilità a seconda che si tratti di edifici in cemento armato con elevati valori di resistenza alle sollecitazioni sismiche e valore minimo di vulnerabilità $V_{min} = -0,02$, e strutture in muratura con valori di vulnerabilità massima $V_{max} = 1,02$. Questi *ranges* vengono adottati per assegnare il valore iniziale di vulnerabilità, V_0 , ad ogni edificio presente nell'area di indagine, sulla base delle informazioni contenute nel database di ArcGIS®.

Tabella 5.1 | Classi di vulnerabilità per tipologie strutturali. Fonte: adattato da Lagomarsino e Giovinazzi (2006).

Typologies	Building type	Vmin	Vmax
Masonry	Rubble stone and earth bricks	0.62	1.02
	Simple stone	0.46	1.02
	Massive stone	0.3	0.86
	Masonry with old bricks	0.46	1.02
	Masonry with r.c. floors	0.3	0.86
	Reinforced /confined masonry	0.14	0.7
Reinforced Concrete	Frame in r.c. (without E.R.D)	0.3	1.02
	Frame in r.c. (moderate E.R.D.)	0.14	0.86
	Frame in r.c. (high E.R.D.)	-0.02	0.7
	Shear walls (without E.R.D)	0.3	0.86
	Shear walls (moderate E.R.D.)	0.14	0.7
	Shear walls (high E.R.D.)	-0.02	0.54

C. Modellazione sismica e correlazione con l'EMS-98

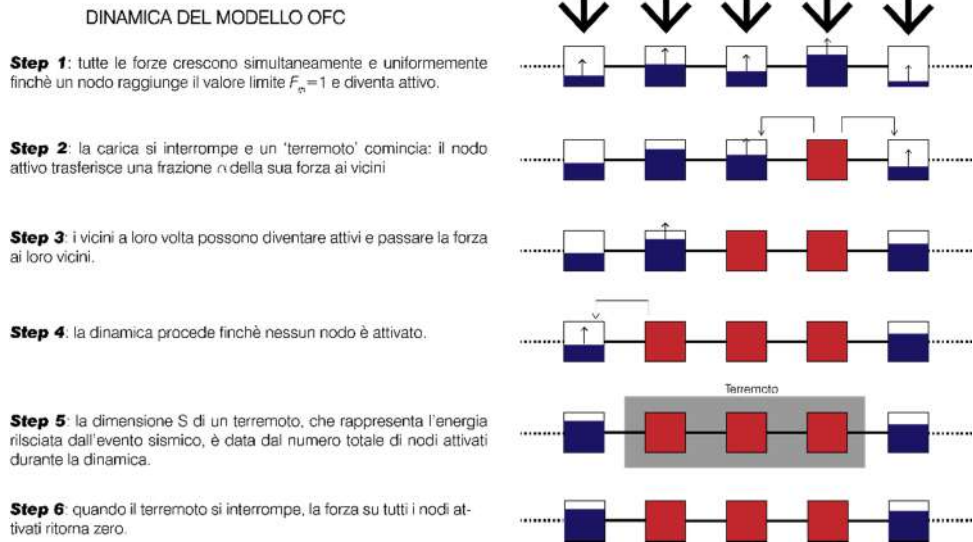
Come già anticipato, il terremoto S è definito dal numero di nodi che si attiva durante la dinamica (i nodi rossi in Figura 5.4) e rappresenta l'energia

⁴⁹ Lagomarsino e Giovinazzi hanno proposto due modelli: uno macrosismico ed uno meccanico, da utilizzare rispettivamente con le mappe di intensità macrosismica e quando il pericolo è espresso in termini di PGA (*peak ground acceleration*) e valori spettrali. I due modelli definiti LM1 (macrosismico) e LM2 (meccanico) sono stati adottati nel Progetto Risk-UE e considerati in molti paesi nella fase di preparazione di opportune schede che definiscono la vulnerabilità sismica degli edifici esistenti a differenti livelli di dettaglio.

rilasciata dall'evento sismico in uno stato critico, dopo una fase transiente, in cui si possono verificare terremoti di grandi dimensioni.

Nel software programmabile *Net/logo* vengono impostate le regole della dinamica del modello OFC, secondo i seguenti *steps* (Figura 5.6):

Figura 5.6| Rappresentazione grafica delle regole della dinamica del modello Olami-Feder-Christensen (OFC).



- *Step 1:* tutte le forze crescono simultaneamente e uniformemente fino a quando un nodo raggiunge il valore limite $F_{th}=1$ e diventa attivo;
- *Step 2:* la carica si interrompe e un 'terremoto' comincia: il nodo attivo trasferisce una frazione α della sua carica ai vicini;
- *Step 3:* i vicini a loro volta possono diventare attivi e passare la forza ai rispettivi vicini;
- *Step 4:* la dinamica procede finché nessun nodo viene attivato;
- *Step 5:* la dimensione S di un terremoto, ovvero l'energia complessiva rilasciata durante l'evento sismico, è data dal numero totale di nodi attivati durante la dinamica;
- *Step 6:* quando il terremoto si interrompe, la forza su tutti i nodi attivati ritorna zero.

Il dato che emerge dal modello descritto è la dimensione S del terremoto che diventa l'elemento di riferimento per la definizione della magnitudo del terremoto e dell'intensità macro-sismica percepita dagli edifici dell'area di indagine.

I terremoti sono classificati in relazione all'intensità macro-sismica: la scala di intensità adottata per questa ricerca è l'European Macroseismic Scale (EMS-98) un parametro ordinale che esprime il danno crescente causato dall'evento sismico in 12 livelli di intensità del terremoto. Più in dettaglio: I - Non avvertito; II - Scarsamente avvertito; III - Debole; IV - Ampiamente avvertito; V - Forte; VI - Leggermente dannoso; VII - Dannoso; VIII -

Fortemente dannoso; IX – Distruttivo; X – Molto distruttivo; XI – Devastante; XII – Completamente devastante.

Al fine di adattare il modello OFC alla classificazione dell'European Macroseismic Scale, la dimensione S (Step 5 in Figura 5.6) ovvero l'energia rilasciata dal terremoto, è messa in relazione con l'intensità macrosismica I dell'EMS-98, prima derivando la magnitudo – in quanto l'energia S rilasciata dal terremoto simulato è una funzione esponenziale della magnitudo, secondo la relazione: $S = e^M$ –. La magnitudo è espressa come logaritmo naturale dell'energia rilasciata dal terremoto, secondo la formula (5.3):

$$M = \ln S \quad (5.3)$$

La magnitudo può essere, dunque, trasformata in intensità macrosismica attraverso la relazione empirica (5.4) (Musson et al. 2020):

$$I(M) = 1,71M - 1,02 \quad (5.4)$$

Calibrazione

Il software permette di simulare una sequenza arbitraria di eventi sismici di dimensione variabile per un periodo di tempo. La sequenza sismica, scelta a posteriori fra quelle simulate, ha caratteristiche simili alla sequenza che ha investito L'Aquila dall'1 al 10 Aprile 2009. Durante questi 10 giorni centinaia di terremoti si sono verificati nel territorio della città (in media cento eventi al giorno), molti dei quali con magnitudo compresa tra 3 e 4M, il terremoto più violento di magnitudo 5,8 (*mainshock*) e altri tre eventi successivi con magnitudo superiore a 5M.

Gli effetti di questa sequenza sismica sulla struttura urbana de L'Aquila sono stati valutati durante una missione di rilevamento *in situ* dei danneggiamenti subiti dagli edifici in relazione alle differenti tipologie strutturali colpite dal terremoto, allo scopo di migliorare e implementare gli studi ingegneristici per la resistenza sismica degli edifici (Decanini et al., 2009; JRC Scientific and Technical Report, 2009; Kawashima et al., 2009). Le strutture analizzate appartengono a categorie molto comuni nel territorio italiano: edifici costruiti nell'ultimo ventennio prevalentemente in cemento armato, edifici in cemento armato costruiti negli anni Sessanta, edifici in muratura portante e strutture del patrimonio storico-culturale, principalmente nel centro storico della città. I risultati della valutazione del danno (Tabella 5.2) sull'intero patrimonio edilizio hanno evidenziato una percentuale di edifici gravemente danneggiati (composta da edifici utilizzabili dopo qualche intervento, edifici parzialmente inutilizzabili e temporaneamente inutilizzabili) pari al 17,40% ed una percentuale del 24,30% di edifici distrutti (completamente inutilizzabili).

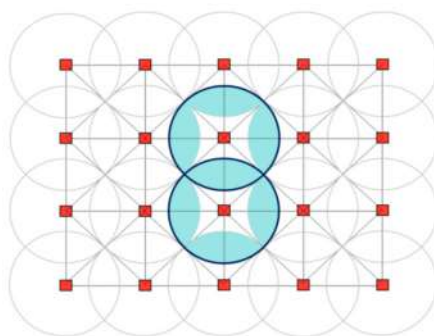
Tabella 5.2| Percentuale (%) di edifici appartenenti alle differenti classi di danno (informazione aggiornata al 3 Giugno 2009). Fonte: JRC Scientific and Technical Report (2009)

	Type of building						
	All	Private	Public	Hospital	Military	School	Industrial
Usable	53.6	53.3	55.7	43.4	75.7	52.6	60.3
Usable after intervention	13.6	13.3	16.1	34.0	18.8	27.9	16.8
Partially unusable	2.8	2.7	4.0	11.3	2.1	2.1	3.8
Temporarily unusable	1.0	1.0	1.5	1.9	0.0	2.9	0.7
Unusable	24.3	24.9	19.7	9.4	3.5	12.9	14.5
Unusable (other reason)	4.7	4.8	3.0	0.0	0.0	1.6	3.8

La dimensione del terremoto, come detto, è definita dal numero di nodi attivi nel modello OFC utilizzato (Step 5, Figura 5.6), i quali trasferiscono uno stress sismico di intensità I agli edifici che si trovano intorno al nodo.

Affinché lo scenario sia realistico soltanto una frazione, f_B (*fraction buildings*) di edifici scelti in maniera casuale, interni ad una circonferenza di raggio R^{50} , centrato in ciascun nodo attivo, subisce gli effetti del sisma (Figura 5.7).

Figura 5.7| Schema dei nodi attivi e della circonferenza di raggio R, centrata sul nodo, contenente la frazione di edifici che subisce il sisma.



Definita la sequenza sismica, si calibra il parametro di controllo f_B in base alle percentuali dei danni reali registrati dopo il sisma del 2009 con riferimento alla percentuale di edifici danneggiati in maniera grave, 17,40% e degli edifici distrutti, 24,30% a L'Aquila (Tabella 5.3).

Tabella 5.3| Al variare del parametro di controllo f_B si ottengono le corrispondenti percentuali di edifici gravemente danneggiati e distrutti dell'area di indagine.

L'Aquila 2009	Heavily Damaged Buildings	Destroyed Buildings	Heavily Damaged + Destroyed Buildings
(real data)	17.40%	24.30%	41.70%

⁵⁰ Le dimensioni del raggio R della circonferenza dipendono dalla distanza tra i nodi.

Under examination area (<i>simulation</i>)	Heavily Damaged Buildings	Destroyed Buildings	Heavily Damaged + Destroyed Buildings
$f_B = 0.35$	-	-	-
$f_B = 0.36$	-	-	-
$f_B = 0.37$	-	-	-
$f_B = 0.38$	-	-	-
$f_B = 0.39$	-	-	-
$f_B = 0.40$	-	-	-
$f_B = 0.41$	-	-	-
$f_B = 0.42$	-	-	-
$f_B = 0.43$	-	-	-
$f_B = 0.44$	-	-	-

D. (1) Simulazione di eventi sismici multipli

Con il modello OFC vengono simulate sia delle sequenze sismiche distribuite nel tempo sia l'impatto di singoli eventi sismici di una definita intensità sismica.

Nella ricerca vengono selezionati a posteriori diversi scenari sismici, variando casualmente la distribuzione della forza sismica iniziale sulla griglia.

Specificamente, vengono simulate tre sequenze sismiche di differenti intensità:

- *Multiple earthquake scenario - Low intensity (MES-LI);*
- *Multiple earthquake scenario - Medium intensity (MES-MI);*
- *Multiple earthquake scenario - High intensity (MES-HI).*

Per ogni scenario vengono investigati gli effetti in termini di danno accumulato sugli edifici dell'area di indagine. Per ogni scenario sismico viene sviluppata la mappatura in termini di danneggiamento degli edifici (*punto E*).

D. (2) Simulazione di eventi sismici singoli

La dinamica OFC consente di sviluppare scenari di danno relativi a eventi sismici singoli, che producono danni sugli edifici confrontabili con quelli delle sequenze sismiche del punto D (1). In questo modo vengono selezionati tre eventi sismici di magnitudo crescente:

- *Single earthquake scenario M1 (SES-M₁);*
- *Single earthquake scenario M2 (SES-M₂);*
- *Single earthquake scenario M3 (SES-M₃).*

Per ogni evento vengono investigati gli effetti in termini di danno accumulato sugli edifici dell'area di indagine. Per ogni evento sismico viene sviluppata la mappatura in termini di danneggiamento degli edifici (*punto E*).

E. Valutazione sismica del patrimonio edilizio in termini di parametro di danno μD .

Il danno atteso μ_D per ogni edificio è connesso all'input sismico attraverso la funzione analitica (5.5) derivata dall'EMS-98 e calibrata sulla base dei danni reali riportati da diversi terremoti (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006):

$$\mu_D[I(M, a_g, a_s)] = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I(M, a_g, a_s) + 6.25V - 13.1}{Q} \right) \right] \quad (5.5)$$

dove

- $I(M, a_g, a_s)$ rappresenta l'intensità macrosismica, espressa come funzione della magnitudo del terremoto e dei parametri a_g e a_s .

In riferimento alla Mappa della Pericolosità Sismica Italiana (2004)⁵¹, il pericolo sismico di una regione è definito dai valori di pericolosità sismica espressi in termini di accelerazione massima del suolo a_g - *Peak Ground Acceleration*, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.2 delle NTC/2008). Per tutta l'Italia i *ranges* di accelerazione massima del suolo variano da 0,15 a 0,30g.

- a_s si riferisce alle condizioni topografiche per le quali è preferibile predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione indicata nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (Tabella 5.4 e Tabella 2; punto 3.2.2 delle NTC/2008):

Tabella 5.4 | Condizioni topografiche del suolo. Fonte: punto 3.2.2, NTC/2008

Categoria	Caratteristica della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $a_s \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $a_s > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq a_s \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $a_s > 30^\circ$

- V rappresenta la vulnerabilità dell'edificio e Q l'indice di duttilità. Generalmente si assume un valore di duttilità $Q=2,3$ per edifici in muratura portante, valore ritenuto idoneo per tutti quegli edifici che non sono stati costruiti per avere un comportamento duttile. Molti degli edifici in cemento armato sono stati costruiti senza tenere in considerazione le sollecitazioni sismiche, per cui un valore idoneo di duttilità è ritenuto $Q=2,6$ (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006).

Il danno sugli edifici può essere causato sia da un forte evento sismico sia a causa di una sequenza sismica di moderata intensità.

Il danno prodotto da un singolo evento sismico, $\mu_D \in [0,5]$, è calcolato direttamente dall'equazione (5.5), mentre nel caso di eventi sismici ripetuti si

⁵¹ <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

assume che per ogni edificio il danno progressivamente accumulato è espresso dalla relazione: $\mu_D^{TOT} = \Sigma \mu_D$.

Sulla base del danno accumulato, gli edifici sono classificati in tre categorie (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006): 'moderatamente danneggiati', 'pesantemente danneggiati' e 'distrutti' (Tabella 5.5):

Tabella 5.5| Classi di danneggiamento in relazione al danno accumulato dagli edifici.

Danno accumulato	Classificazione
$0,5 \leq \mu_D^{TOT} < 2$	'moderatamente danneggiati'
$2 \leq \mu_D^{TOT} < 4$	'pesantemente danneggiati'
$4 \leq \mu_D^{TOT} < 5$	'distrutti'

Conseguentemente varia il valore della vulnerabilità, aggiornato secondo l'equazione (5.6):

$$V_{new} = V_0 \left(1 + \frac{\mu_D^{TOT}}{5} \right) \quad (5.6)$$

dove V_0 è la vulnerabilità iniziale, assegnata secondo la Tabella 5.1 (punto B). Questo significa che il ripetersi dei terremoti può causare danneggiamenti ad edifici che precedentemente risultavano non danneggiati e accrescere conseguentemente il danno totale accumulato dall'edificio, μ_D^{TOT} (che parte da 0 al tempo $t=0$) e cambiare lo status iniziale del danneggiamento.

F. Confronto con un indice di rischio 'a-priori' (Modello di Crichton)

I danni mediati osservati nelle tre simulazioni numeriche a evento singolo ($SES-M_1$, $SES-M_2$, $SES-M_3$) vengono confrontati con un modello tradizionale di valutazione del Rischio, definito dal Triangolo del Rischio di Crichton. L'indice, di seguito definito 'a-priori' è funzione di tre componenti: Pericolosità, Esposizione e Vulnerabilità, come indicato nella relazione (1.3) del Capitolo 1, par. 1.2.

In questo caso la Pericolosità esprime la potenzialità che un evento sismico possa produrre un danno; l'Esposizione valuta l'ammontare dei beni esposti al pericolo (edifici); la Vulnerabilità rappresenta l'attitudine di questi beni ad essere danneggiati in caso di pericolo sismico.

Ai fini del calcolo, queste componenti sono parametrizzate in relazione ai singoli comuni che costituiscono l'area di indagine, come segue:

- Pericolosità (*Hazard*): proporzionale all'accelerazione massima al suolo a_g , alla pendenza media del terreno a_s e alla presenza di faglie attive nell'area di indagine N_f ;

$$H_i = \frac{1}{3} \frac{\langle a_g \rangle_i}{\max[\langle a_g \rangle_i]} + \frac{1}{3} \frac{\langle a_s \rangle_i}{\max[\langle a_s \rangle_i]} + \frac{1}{3} \frac{(N_f)_i}{\max[(N_f)_i]} \quad (5.7)$$

- Esposizione (*Exposition*): proporzionale al numero di risorse che potrebbero essere danneggiate o distrutte dal terremoto, ovvero il numero di edifici, N_b ;

$$E_i = \frac{(N_b)_i}{\max[(N_b)_i]} \quad (5.8)$$

- Vulnerabilità (*Vulnerability*): proporzionale al valore modale della vulnerabilità iniziale degli edifici presenti nell'area.

$$V_i = \frac{\text{Mode}(V_0)_i}{\max[\text{Mode}(V_0)_i]} \quad (5.9)$$

i è il livello di aggregazione comunale dell'area indagata.

L'indice di Rischio 'a-priori' è il prodotto delle tre variabili (modello moltiplicativo):

$$R_i = H_i * E_i * V_i \quad (5.10)$$

Il confronto tra il modello di Crichton e le simulazioni numeriche ad agenti consente di verificare i risultati ottenuti e confermare la validità del modello OFC per la rappresentazione di eventi sismici.

5.3.5. Mappe di rischio sismico simulato

Al termine delle simulazioni, è possibile individuare l'esatta collocazione geo-referenziata degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' nell'area di indagine. In questo modo si possono derivare le mappe di rischio sismico in funzione del numero complessivo di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti', per ogni scenario analizzato, applicando la seguente relazione:

$$R_{sB} = \mu_{HD} + \mu_{Db} \quad (5.11)$$

dove μ_{HD} rappresenta il numero degli edifici 'gravemente danneggiati' (*heavily Damaged buildings*) e μ_{Db} rappresenta il numero degli edifici 'distrutti' (*Destroyed buildings*).

5.4. L'analisi della vulnerabilità sociale⁵²

La vulnerabilità sociale come elemento di analisi è stato ampiamente oggetto di riflessioni nell'ambito della *Disaster Risk Reduction* (DRR), per la stretta relazione intercorrente tra le conseguenze di un evento pericoloso su un sistema e il grado di vulnerabilità della comunità colpita (v. Cap.3, par.3.3). La vulnerabilità sociale è stata, dunque, riconosciuta come requisito per la comprensione dei rischi e per lo sviluppo delle misure più efficaci di mitigazione/adattamento al rischio e per la gestione dell'emergenze (UNISDR, 2017):

«the conditions determined by physical, social, economic and environmental factors or processes which increase the susceptibility of an individual, a community, assets or systems to the impacts of hazards».

La vulnerabilità sociale può essere definita come una proprietà *place-based* in quanto comprende, nell'ampio range delle caratteristiche di cui è costituita, la dimensione sociale, ambientale e territoriale, elementi che in un dato contesto geografico esasperano o riducono le conseguenze potenziali di un evento pericoloso (Cutter et al. 2003), dove il territorio è il risultato delle complesse dinamiche di interazioni sociali e fisica tra individui, ambiente costruito e sistema naturale all'interno dei limiti di uno specifico contesto spazio-temporale.

Due componenti principali caratterizzano la vulnerabilità sociale:

- una componente esterna di esposizione ai pericoli naturali, difficile da cambiare;
- una componente interna connessa alla suscettibilità degli individui, alla consapevolezza e conoscenza delle fonti di pericolo.

Questa seconda componente definisce, relativamente al tipo di approccio adottato e alla scala di lettura, i livelli di partecipazione della sfera pubblica. Gli approcci alla valutazione della vulnerabilità possono essere distinti in (Khulicke et al., 2011):

- Approccio tassonomico-deduttivo;
- Approccio partecipativo-induttivo.

Entrambi gli approcci perseguono differenti obiettivi e si basano su differenti metodi, differenti livelli di analisi spaziale e, come anticipato, sviluppano differenti gradi di partecipazione.

L'approccio *tassonomico-deduttivo* mira ad identificare le aree, i gruppi o i settori con le maggiori necessità, ovvero con un alto livello di vulnerabilità

⁵² Alcuni estratti del presente paragrafo sono contenuti nell'articolo: Fischer E., Vulnerabilità sociale: indici, indicatori e metodologie a confronto, in Brunetta G., Calderice O., Russo M., Sargolini M. (a cura di), *Resilienza nel governo del territorio. Atti della XXIII Conferenza Nazionale SIU, Downscaling, Rightsizing. Contrazione demografica e riorganizzazione spaziale*, Torino 17-18 giugno, 2021, vol. 04, Planum Publisher e Società Italiana degli Urbanisti, Roma-Milano, 2021.

sulla base di differenti indicatori. L'ipotesi sottostante a questo tipo di valutazione è l'esistenza di una relazione positiva forte tra la vulnerabilità e le condizioni socio-economiche e demografiche.

L'analisi sviluppata in questa fase metodologica si riferisce all'approccio *tassonomico-deduttivo*.

L'obiettivo di questo approccio consiste nell'individuare aree a maggiore vulnerabilità per definire le priorità di intervento e sviluppare le strategie e le misure per ridurre la vulnerabilità delle aree o dei gruppi sociali con le maggiori esigenze. Si può definire questo approccio *policy-oriented*, in quanto ha il vantaggio di sviluppare uno strumento sintetico in grado di catturare gli aspetti multidimensionali della vulnerabilità sociale attraverso un confronto tra vulnerabilità di specifiche unità areali (Fekete et al., 2009), di individuare *trends*, impostare priorità politiche di intervento.

L'approccio *partecipativo-induttivo* mira a comprendere la percezione degli attori della propria vulnerabilità in modo da identificare e rafforzare eventuali capacità di auto-efficacia (Bandura, 1977) e accrescere la consapevolezza a livello locale del rischio, sviluppando strategie di adattamento integrate e applicabili a livello locale. Questo approccio viene adottato nella seconda parte metodologica della presente ricerca.

La procedura per il calcolo dell'indice sintetico di vulnerabilità sociale prevede le seguenti fasi (Figura 5.8) (OECD, 2008):

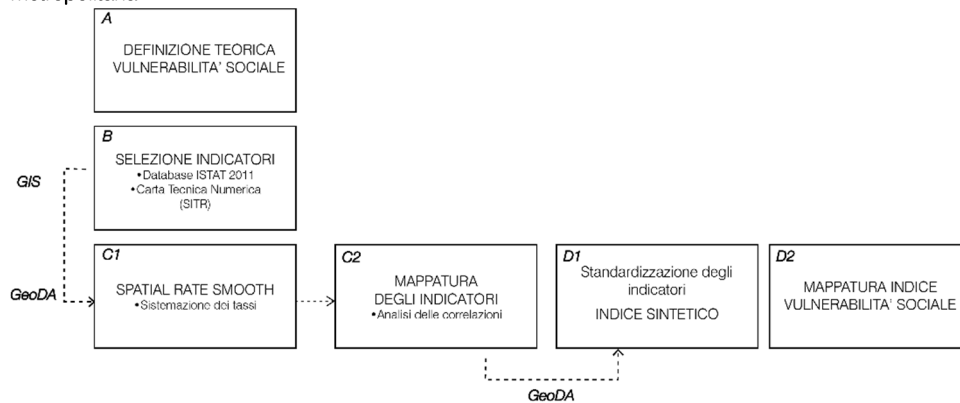
- definizione del fenomeno oggetto di studio;
- selezione degli indicatori elementari;
- standardizzazione degli indicatori;
- aggregazione degli indicatori standardizzati in uno o più indici sintetici.

Il grafico in Figura 5.9 descrive la metodologia adottata per l'analisi della vulnerabilità sociale nell'area indagata.

Figura 5.8| Diagramma di flusso che illustra la sequenza ideale per la costruzione degli indicatori compositi. Fonte: JRC/OECD Handbook.



Figura 5.9 | *Flowchart* per la definizione dell'indice sintetico di vulnerabilità socio-demografica per un'area metropolitana



5.4.1. La definizione del fenomeno

Come ampiamente descritto nel Capitolo 3 (par. 3.3), i rischi non sono ugualmente distribuiti nella società. Alcune categorie sociali hanno risorse ridotte nell'affrontare e superare le conseguenze di uno 'shock'. Le risorse di una società sono espressione del suo livello di benessere. Minori sono le risorse a disposizione, maggiore sarà l'incapacità di affrontare situazioni inattese con conseguenze disastrose. Tuttavia non è soltanto la dimensione del disagio economico a influenzare l'accentuazione dei fenomeni esogeni, ma anche le trasformazioni socio-demografiche ed economiche cominciate, in Italia già alla fine degli anni Settanta.

Grandi cambiamenti socio-demografici e occupazionali hanno modificato la struttura sociale con conseguenze che si ripercuotono sull'esposizione ai rischi naturali. Infatti, l'incertezza sulla propria condizione economica e sociale non è esclusiva di alcune categorie ben definite (i poveri), ma abbraccia una più ampia platea di individui in diverse fasi del ciclo di vita, e per i quali emergono diversi bisogni (autosufficienza degli anziani, figli piccoli, giovane età etc.). Le trasformazioni in atto evidenziano, da una parte, la riduzione della dimensione media dei nuclei familiari, dall'altra la debolezza delle unioni familiari, limitando di conseguenza l'affidamento sulle reti parentali in caso di problemi economici, sostegno in caso di calamità, scambio di informazioni e comunicazione in caso di emergenza, e diminuendo di fatto il ruolo di primo ammortizzatore sociale da sempre svolto dalla famiglia (Ferrera, 2006 citato in Istat, 2020 -Le misure della vulnerabilità). Nella definizione della vulnerabilità sociale si è ripreso il concetto proposto in letteratura che definisce la vulnerabilità sociale come il risultato della stratificazione di circostanze socio-demografiche che collocano alcune persone più a rischio di altre rispetto alle minacce ambientali. «Human vulnerability—the result of circumstances that place people at risk, reduce their means of response, or deny them protection—is an integral concern in the development and evaluation of disaster policies»

(Heinz Center, 2002)⁵³.

Per riempire di significato il termine 'circostanze' si è fatto riferimento agli aspetti di trasformazione socio-demografica che hanno comportato l'insorgenza di nuovi bisogni di assistenza e cura relativamente a determinate fasce di età, oltre a stravolgere gli assetti tradizionali delle strutture familiari. Rischio e vulnerabilità sono inscindibili in Italia e l'influenza dei fattori sociali nella gestione dei rischi è decisiva nello sforzo analitico di comprendere quanto la vulnerabilità dei sistemi urbani sia influenzata da essi al fine di identificare strategie preventive integrate di mitigazione e riduzione del rischio nella pianificazione urbana e territoriale.

L'introduzione di indicatori compositi descrittivi della vulnerabilità sociale della popolazione ha avuto come presupposto l'idea di offrire una sintesi di elementi base già fortemente orientati a misurare condizioni meno descritte dagli indicatori comunemente utilizzati nell'analisi socio-economica (ISTAT-le misure della vulnerabilità). In questo modo è stato sviluppato l'Indice di vulnerabilità socio-demografica - V_{sd} .

Il *punto B* della metodologia proposta consiste nella raccolta e selezione degli indicatori necessari a costruire l'indice di vulnerabilità socio-demografica. Ai fini dell'analisi vengono utilizzati i dati dell'ultimo censimento generale dell'Istat (2011), i quali forniscono un insieme di informazioni eccezionalmente completo sulla distribuzione spaziale di una serie di variabili demografiche e sociali nella popolazione italiana.

Il primo livello territoriale rispetto al quale sono aggregati i dati censuari è, in effetti, quello delle sezioni di censimento, che definiscono una suddivisione molto fine dello spazio di ogni comune: si tratta infatti di piccole porzioni del territorio comunale, piuttosto varie nella superficie e nella popolazione compresa, che coprono ciascuna, orientativamente, pochi isolati di una città. Le variabili dei censimenti Istat permettono, dunque, di studiare la differenziazione dello spazio urbano di una singola città rispetto a una serie di variabili demografiche, sociali e abitative.

In particolare l'unità censuaria rappresenta ad oggi l'unica indagine statistica diretta in grado di fornire il livello di dettaglio necessario a una analisi

⁵³ «Human vulnerability stems from the individual characteristics of people that make them more susceptible to harm from environmental threats (age, gender, race, health, and personal habits). There is increasing recognition that certain social and economic characteristics influence human vulnerability at both individual and community levels. Lack of economic or human resources can limit the ability of some groups, such as woman-headed households, the elderly, the unemployed, the illiterate or uneducated, the ill or handicapped, to respond adequately to a coastal hazard. Minorities and other marginalized groups may be excluded from lines of communication and action. Housing status, such as being a renter, can also limit an individual's ability to respond. Community-level factors, such as intensity and type of residential, commercial, or industry development, infrastructure and lifelines, and population growth, also affect hazard vulnerability». Per un'ampia disamina di tutti gli indicatori individuati in letteratura nella definizione della vulnerabilità sociale si rimanda alla Tabella S.1 del testo *Human Links to coastal disasters*, Heinz Center 2002.

funzionale del territorio. Soltanto i dati censuari permettono di osservare le differenze sociali ed economiche all'interno di un'area metropolitana, analizzando partizioni territoriali minute, a un livello di dettaglio che le indagini campionarie non consentono.

5.4.2. *Spatial Smoothing* e standardizzazione

Le variabili da cui sono ricavati gli indicatori di stato socio-demografico sono espresse in forma di tassi su una popolazione, ovvero di percentuali di una certa categoria di residenti sulla popolazione residente totale per ogni sezione censuaria. Le sezioni censuarie sono unità spaziali piuttosto eterogenee nella forma geometrica e nella dimensione della popolazione.

A causa della differente dimensione della popolazione e delle abitazioni totali per singolo areale, il tasso grezzo varia notevolmente in relazione al denominatore, perdendo in rappresentatività e significatività del fenomeno osservato⁵⁴. Queste caratteristiche delle variabili e delle unità spaziali hanno suggerito di aggiustare i dati grezzi prima del processo di standardizzazione, con un metodo di *Spatial Rate Smoothing*⁵⁵. Questo tipo di aggiustamento è in effetti cruciale per database come quello analizzato, composti da tassi associati ad una griglia spaziale molto irregolare nella forma e nella popolazione delle celle. La variabilità della popolazione sottostante e l'irregolarità geometrica della griglia, infatti, implicano che i tassi delle aree contigue considerate non abbiano tutti lo stesso valore quanto ad affidabilità e rappresentatività del fenomeno di interesse in un punto dello spazio⁵⁶.

A causa della variazione della popolazione nel territorio, anche la precisione dei tassi varierà. L'instabilità della varianza necessita di essere osservata anche in mappa o corretta per evitare rappresentazioni pretestuose della distribuzione spaziale dei tassi.

Lo *smoothing* spaziale mira a correggere la connaturata instabilità della varianza dei tassi grezzi e ne migliora la precisione 'prendendo in prestito' la

⁵⁴ Per esempio, un tasso della popolazione anziana (sopra i 74 anni) del 20% ha una significatività diversa a seconda che sia calcolato su una sezione di 300 abitanti (riflettendo una popolazione di 15 anziani) oppure su una sezione di 1000 abitanti riflettendo una popolazione di 50 anziani.

⁵⁵ Questo metodo statistico di aggiustamento spaziale (*Spatial Rate Smoothing*) è stato sviluppato sul software *GeoDa*. *GeoDa* è un software open-source gratuito, utile strumento nella *Spatial data Science*, sviluppato da Luc Anselin, Direttore del Center for Spatial Data Science all'Università di Chicago. È progettato per facilitare la comprensione dei dati esplorando e modellando i pattern spaziali.

⁵⁶ In termini statistici, il tasso grezzo o crudo, su cui si basano i tassi (*spatially intensive variable*) è una stima imparziale di un fenomeno, una proprietà importante e desiderabile. Tuttavia la sua varianza ha una proprietà non trascurabile, ovvero riporta al denominatore la popolazione complessiva su cui si misura il rapporto della variabile analizzata. Questo implica che quanto più piccola è la popolazione al denominatore tanto maggiore è la varianza del tasso stesso, e di conseguenza tanto minori sono l'affidabilità e rappresentatività della variabile nel punto dello spazio considerato.

forza rappresentativa delle altre osservazioni (James e Stein, 1961). I metodi per migliorare la precisione del tasso sono tre⁵⁷:

- *Empirical Bayes approach*;
- *Spatial Rate Smoothing*;
- *Spatial empirical Bayes smoothing*.

Per le finalità di questo lavoro viene adottato lo *Spatial Rate Smoothing*. Questo metodo di aggiustamento consiste nel calcolare un nuovo tasso all'interno di una finestra mobile centrata in ogni sezione. La finestra include le sezioni e i suoi vicini (metodo *nearest neighbourhood*). In questo modo lo *spatial smoothing* calcola per ogni sezione di censimento, il tasso complessivo della finestra centrata sulla cella stessa; alla cella centrale della finestra viene attribuito un tasso aggiustato pari ad una media ponderata tra il tasso grezzo originario della sezione e il tasso complessivo della finestra di cui la sezione fa parte. In questo modo avvicinando il tasso di ogni sezione al tasso complessivo di aree più estese, lo *spatial smoothing* tende a ridurre la variabilità locale dei tassi e ad enfatizzare trend spaziali di più ampia portata. I pesi della media ponderata avvicinano il tasso aggiustato di ogni sezione al tasso complessivo della finestra spaziale (e lo allontanano dal tasso grezzo) tanto più quanto minore è la popolazione della sezione, e minore è la variabilità dei tassi grezzi delle altre sezioni all'interno della finestra spaziale.

Una volta 'aggiustati' i tassi, si effettua la standardizzazione che permette di confrontare variabili che hanno medie e deviazioni standard misurate su diversa unità di misura o ordine di grandezza.

5.4.3. PCA e mappatura della vulnerabilità socio-demografica

La procedura di aggregazione delle variabili aggiustate e standardizzate avviene attraverso i coefficienti estratti con la tecnica della *Principal Component Analysis* (PCA), un metodo tradizionale di analisi statistica multivariata. La tecnica di estrazione delle componenti principali è una metodologia ampiamente utilizzata per la definizione di indici sintetici (OECD, 2008; Cutter et al. 2003; Schmidtlein et al. 2008; Borden et al. 2007), in quanto riduce la dimensionalità espressa dal numero degli indicatori raccolti in fase di definizione del modello teorico.

L'analisi delle componenti principali utilizza una tabella composta da V variabili (colonne) e n osservazioni (sezioni censuarie) e restituisce una matrice $V \times C$, dove ogni linea rappresenta una variabile (V) e ogni colonna è una componente (C). L'operazione di estrazione viene sviluppata nel software IBM SPSS Statistics, e l'operazione di aggregazione dell'indice avviene attraverso la combinazione lineare dei coefficienti delle componenti principali, selezionate secondo il metodo dell'autovalore maggiore di 1, per ogni variabile aggiustata e standardizzata – variable-wise approach (Spielman et al., 2020) In questo modo è possibile individuare quale variabile sia più significativa all'interno dell'indice sintetico.

⁵⁷ Per ulteriori approfondimenti sulle tecniche di 'aggiustamento' spaziale dei tassi si rimanda alla lettura di: https://geodacenter.github.io/workbook/3b_rates/lab3b.html#fnref1

Per ogni sezione di censimento verrà calcolato il valore sintetico dell'Indice di vulnerabilità socio-demografico (V_{sd}) secondo la formula 5.12:

$$V_{sd} = \sum_{c=1}^m \theta_v x_{i,v} \quad (5.12)$$

dove $\sum_{c=1}^m \theta_v$ è la combinazione lineare dei coefficienti delle componenti principali selezionate per lo stato socio-demografico;

$x_{i,v}$ è la v_{th} variabile per la i -esima sezione.

Il procedimento consente di ottenere l'indice sintetico e di assegnarne i valori a ciascuna delle sezioni di censimento dell'area indagata.

I valori dell'indice vengono normalizzati rispetto al valore massimo, consentendo la classificazione dei due indici in cinque categorie (Tabella 5.6): *Low* (0 – 0,40); *Low-Medium* (0.41 – 0.50); *Medium* (0.51 – 0.60); *Medium – High* (0.61 – 0.70); *High* (0.71 – 1.00).

Tabella 5.6 | Classificazione dell'Indice di vulnerabilità socio-demografica in cinque categorie.

Categoria	Intervallo
<i>Low</i>	0 – 0.40
<i>Low-medium</i>	0.41 – 0.50
<i>Medium</i>	0.50 – 0.60
<i>Medium-high</i>	0.61 – 0.70
<i>High</i>	0.71 – 1.00

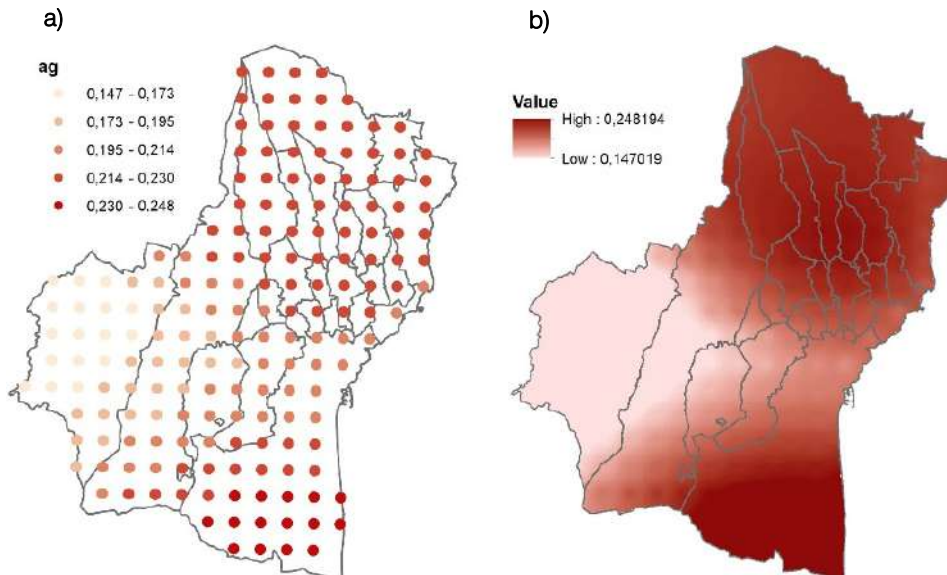
5.5. Mappatura della pericolosità sismica

La mappatura della pericolosità sismica viene sviluppata in ambiente GIS, sulla base del database contenuto nella Mappa della Pericolosità Sismica Italiana (2004) (v. par. 5.3.4, *punto E*), che fa riferimento all'accelerazione massima del suolo, a_g , e probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b).

Il database disponibile, contenente i valori standard di a_g e le relative incertezze per tutto il territorio italiano, è stato sfruttato per derivare la distribuzione della PGA per il settore indagato. I valori, rappresentati da punti dati georeferenziati (Figura 5.10a) (0.05° space-array), che variano da un minimo di 0,025g ad un massimo di 0,30g, sono stati trasformati in una funzione continua (*Grid*) utilizzando il metodo di interpolazione *Inverse Distance Wiegthed* (IDW), operato nella piattaforma ArcGIS®. Attraverso questa tecnica di interpolazione si è potuto superare la rappresentazione discreta dei punti dell'accelerazione massima orizzontale, in una rappresentazione continua della pericolosità sismica sul territorio, come riportato in Figura 5.10b.

La mappa derivata (Figura 5.10b), mostra come variano i valori PGA per il settore indagato, da un valore minimo di 0,15 g a 0,25 g, caratterizzando un settore sismico con pericolosità medio-alta (zona sismica 2).

Figura 5.10| a) Mappa della pericolosità sismica espressa in punti di a_g MPS04; b) Mappa della pericolosità sismica espressa in termini di a_g attraverso la funzione *Inverse Distance Weighted*.



5.6. Il Rischio Sismico della componente socio-demografica e della componente fisica

La metodologia descritta mira ad individuare, con un approccio *risk-based* gli ambiti territoriali dove si evidenziano delle prevalenze in termini di vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio urbano e di vulnerabilità socio-demografica. Infatti, data la matrice concettuale adottata si distinguono due forme di rischio, a parità di pericolosità sismica, uno definito dalla componente di vulnerabilità socio-demografica e uno definito dalla vulnerabilità fisica del patrimonio edilizio urbano.

Il rischio sismico rispetto alla componente socio-demografica è il prodotto dei tre fattori di vulnerabilità, esposizione e pericolosità del *framework* concettuale di Crichton, più volte richiamato, espresso dalla formula:

$$(R_{sd})_j = (V_{sd})_j (E_p)_j (P)_j \quad (5.14)$$

dove $(R_{sd})_j$ è il rischio sismico rispetto alla componente socio-demografica della j -esima sezione censuaria;

$(V_{sd})_j$ è la vulnerabilità socio-demografica della j -esima sezione censuaria;

$(E_p)_j$ è la popolazione totale della sezione censuaria;

$(P)_j$ è la pericolosità sismica.

L'indice di rischio socio-demografico $(R_{sd})_j$ che caratterizza la j -esima sezione censuaria viene normalizzato nell'intervallo $[0, 1]$ (normalizzazione min-max).

Ai fini di un confronto tra il rischio socio-demografico e il rischio fisico, i valori medi della vulnerabilità del patrimonio edilizio urbano vengono aggregati al livello di sezione censuaria.

Il rischio sismico rispetto alla componente fisica è il prodotto:

$$(R_f)_j = (V_j)_i (E)_j (P)_j \quad (5.15)$$

dove $(R_f)_j$ è il rischio sismico rispetto alla componente fisica e relativa al patrimonio edilizio urbano della j -esima sezione censuaria;

$(V_j)_i$ è la vulnerabilità media del patrimonio edilizio urbano, sviluppata secondo il modello macrosismico di Lagomarsino e Giovinazzi (2004) (v. par.5.3.4) della j -esima sezione censuaria;

$(E)_j$ è la quantità di edifici presenti nella sezione censuaria;

$(P)_j$ è la pericolosità sismica.

Infine, l'indice di rischio fisico del patrimonio edilizio urbano $\langle R_f \rangle_j$ che caratterizza la j -esima sezione censuaria viene normalizzato nell'intervallo $[0,1]$ (normalizzazione min-max).

Il Rischio socio-demografico e il Rischio fisico vengono classificati rispettivamente in quartili: basso, medio-basso, medio-alto, alto e confrontati attraverso la distribuzione spaziale su supporto ArcGis[®], derivandone i livelli di controllo del territorio associati al livello di rischio.

Riferimenti bibliografici

Bak P., C. Tang, Earthquakes as a self-organized critical phenomenon, In *J. Geophys. Res.* 94, 15 635 (1989).

Benhamza K., S. Ellagoune, H. Seridi e H. Akdag (2012), Agent-based modeling for traffic simulation, In *Courrier du savoir* 14, pp. 51-56.

Borden K.A., M. Schmidlein, C. Emrich, W.W. Piegorsch, S. Cutter (2007), Vulnerability of U.S. Cities to Environmental Hazards, In *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, Volume 4, Issue 2.

Bosi A., F. Marazzi, A. Pinto, G. Tsionis (2009), The L'Aquila earthquake of 6 April 2009: report and analysis from a field mission JRC Scientific and Technical Report, 2009, doi:10.2788/188.

Caruso F., V.Latora, A.Pluchino, A.Rapisarda, B.(2006), Olami-Feder Christensen model on different networks, In *EPJ B* 50, 243-247.

Decanini L.D, L. Liberatore, F. Mollaioli (2012), Damage potential of the 2009 L'Aquila, Italy, earthquake, In *Journal of Earthquake and Tsunami* 6.

Durin G., G.Bertotti, A.Magni (1995), Fractals, scaling and the question of self-organized criticality in magnetization processes, In *Fractals* 3, 351.

Fichera A., A. Pluchino, R. Volpe (2018), A multi-layer agent-based model for the analysis of energy distribution networks in urban areas, In *Physica A* 508, pp. 710–725.

Friedmann J. (1987), *Planning in the Public Domain: From Knowledge to Action*, Princeton, Princeton University Press.

Greco A., A. Pluchino, F. Cannizzaro, S. Caddemi, I. Calì (2018), Closed-form solution based genetic algorithm software: Application to multiple cracks detection on beam structures by static tests, In *Appl. Soft Comput.* J.64, pp. 35–48.

Greco A., A. Pluchino, L. Barbarossa, G. Barreca, I. Calì, F. Martinico, A. Rapisarda (2019), A new agent-based methodology for the seismic vulnerability assessment of urban areas, In *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8 (6), art. 925 no. 274.

Gutenberg B., C. F. Richter (1956), Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration, In *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 9, 1

Istat (2020), *Le misure della vulnerabilità: un'applicazione a diversi ambiti geografici*, *Lecture statistiche – Metodi*, ISBN 978-88-458-2031-1.

James W. e C. Stein (1961), *Estimation with quadratic loss*, In *Proc. Fourth Berkeley Symp. Math. Statist. Prob.* 1, pp. 361–37.

Kawashima K., Ö.Aydan, T.Aoki, I.Kishimoto, K.Konagai, T.Matsui, J. Sakuta, N.Takahashi, S.P.Teodori, A. Yashima (2010), *Damage of 2009 L'Aquila, Central Italy Earthquake*, In *Journal of Earthquake Engineering* 14(6).

Lagomarsino S., S. Giovinazzi (2006), *Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings*, In *Bull. Earthq. Eng.* 4, pp. 415–443.

Le Pira M., G. Inturri, M. Ignaccolo, A. Pluchino, A. Rapisarda (2017), *Finding shared decisions in stakeholder networks: An agent-based approach*, In *Physica A* 466, pp. 277–287.

Macal C. M., M. J. North (2010), *Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation*, In *Journal of Simulation*, Vol. 4, No. 3, 2010, pp. 151-162. doi:10.1057/jos.2010.3

Musson R.M.W., G. Gruntal, M. Stucchi (2010), *The comparison of macroseismic intensity scales*, In *J. Seimology* 14, pp. 413–428.

Olami Z., H.J.S. Feder, K. Christensen (1992), *Self-organized criticality in a continuous, nonconservative cellular automaton modeling earthquakes*, In *Phys. Rev. E* 68, pp.1244–1247.

Pluchino, A., C. Garofalo, G. Inturri, A. Rapisarda, M. Ignaccolo (2014), *Agent-based simulation of pedestrian behaviour in closed spaces: A museum case study*, In *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 17 (1) 16.

Stucchi M., C. Meletti, V. Montaldo, A. Akinci, E. Faccioli, P. Gasperini, L. Malagnini, G. Valensise (2004), *Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04 [Data set]*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Wilensky, U. (1999), *NetLogo*, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL.

Watts D.J., S.H. Strogatz (1998), Collective dynamics of 'small world' networks, In *Nature* 393, p.440-442.

Yamin F., S. Huq, A. Rahman (2005), Developing the linking climate adaptation network: Progress and prospects, In *IDS Bulletin* 36, pp. 23–125.

CAPITOLO 6 • L'articolazione metodologica | L'indagine alla scala locale

6.1 Introduzione

«Participatory, inductive vulnerability assessments aim at improving our understanding about actors' perceptions of their own vulnerabilities and capacities in order to develop locally embedded strategies of adaptation and improved coping measures. They have no pre-formulated hypothesis in mind but rather provide the opportunity for all relevant actors to develop their own strategies and policies. The underlying purpose of such a participatory assessment is to identify and strengthen various forms of social capacities and to raise awareness at the local or regional level» (Khulicke et al., 2011).

L'adozione della dimensione percettiva nell'analisi e valutazione del rischio dipende dagli indicatori in grado di definire e catturare i determinanti della percezione del rischio, in quanto essa può differire da pericolo a pericolo, da comunità a comunità. Generalmente la percezione dei rischi e la mobilitazione contro di essi si attua solo quando vengono coinvolti da vicino gli ambiti di vita quotidiana di individui o gruppi sociali e dunque il loro contesto locale. L'aspetto sociale del rischio è sovente legato al contesto specifico e dunque di natura locale. I rischi di maggiore rilievo sociale sono tali per cui anche quando condizionati da cause di ordine globale, la loro manifestazione rivela connotazioni che hanno specificità proprie dei vari contesti (Mela et al. 2003). Per questo motivo l'approccio è *community-based*.

Nella letteratura di settore molti sono gli sforzi per individuare i fattori che definiscono la percezione del rischio. Esploriamo, in questa ricerca, l'impatto della percezione del rischio attraverso la selezione delle variabili di:

- conoscenza soggettiva,
- precedenti esperienze con il pericolo,
- auto-efficacia (*self-efficacy*) (Martin et al., 2009),
- fattori personali e sociali,
- natura e caratteristiche dei disastri (Hofer & Hamann, 2016),

associati alle intenzioni comportamentali (propensione al cambiamento) degli individui (Figura 6.1).

Figura 6.1 | Determinanti della percezione del rischio, adattati da Martin et al. (2009) e Hofer & Hamann, (2016).



6.2 Conceptual Framework

La presente ricerca mira a bilanciare l'approccio 'hard' e 'soft' dell'analisi del rischio (Figura 6.2). Il framework presenta i due principali concetti: 'rischio oggettivo' e 'rischio percepito'. L'obiettivo primario è quello di confrontare i due approcci all'analisi del rischio in modo da valutare quanto la percezione del rischio della comunità possa influenzare l'applicazione delle politiche urbane di riduzione del rischio, in funzione dei livelli oggettivi di rischio sismico misurato.

La valutazione oggettiva del rischio-fisico è analizzata attraverso le tre componenti, rappresentate dalla vulnerabilità, esposizione e pericolo (Crichton Model). La valutazione del rischio percepito è individuata dai cinque determinanti della Figura 6.1 (Martin et al., 2009; Hofer & Hamann, 2016).

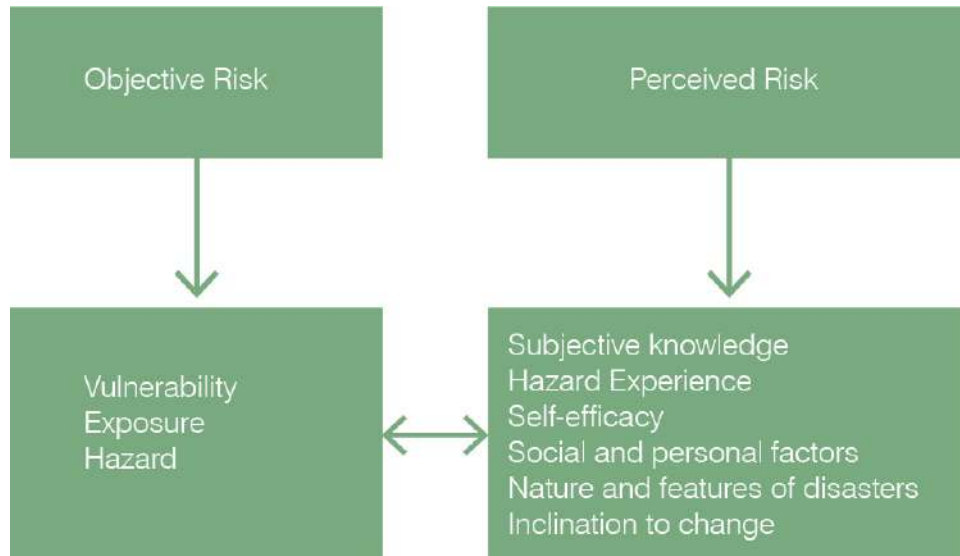
La dimensione analitica è la scala del quartiere che definisce il livello di comunità più appropriato per l'indagine sulla percezione del rischio, la quale può variare da comunità a comunità, ed in funzione del tipo di pericolo. Sulla base di questa impostazione, la ricerca mira a modulare le politiche di trasformazione-prevenzione urbana in funzione della distanza-differenza tra rischio percepito esistente e rischio oggettivo.

Il metodo proposto può essere sfruttato nella fase di pianificazione degli obiettivi strategici di prevenzione del piano urbanistico. Lo scopo è quello di individuare aree di trasformazione-prevenzione urbana e di fornire uno strumento in grado di orientare efficacemente le *policy* urbane soprattutto in quelle aree in cui il rischio oggettivo è maggiore del rischio percepito. A questo proposito è necessario anche valutare la propensione al

cambiamento degli abitanti del quartiere in modo da fornire opportuni incentivi per la mitigazione del rischio sismico.

Lo strumento introduce per la prima volta la dimensione soggettivo-percettiva nella pianificazione della prevenzione e trasformazione urbana, sottolineando l'indispensabile apporto della collettività all'implementazione delle politiche urbane di prevenzione sismica.

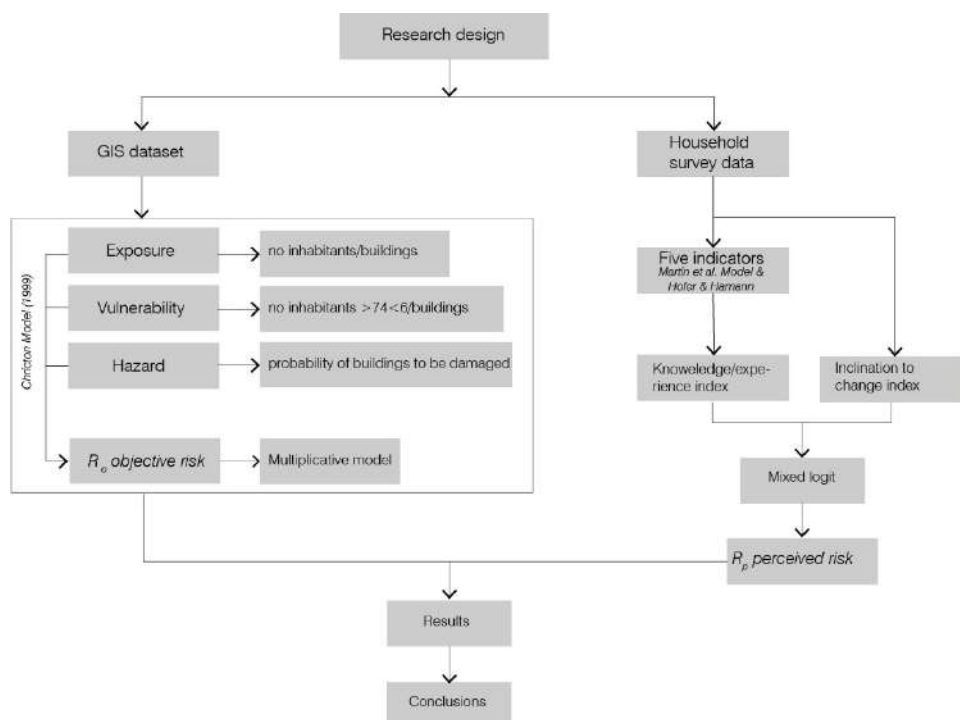
Figura 6.2| Framework Concettuale che mostra i fattori determinanti del rischio oggettivo e del rischio percepito.



6.3 Research Methodology

La Figura 6.3 riporta la metodologia generale adottata nella ricerca proposta. Essa si divide in due fasi: analisi e mappatura del rischio oggettivo e analisi e mappatura del rischio percepito. La ricerca adotta un approccio 'hard', incentrato sulla valutazione del rischio oggettivo tradizionalmente inteso, attraverso un modello ben noto in letteratura e assai utilizzato e richiamato nel presente lavoro di ricerca, il modello di Crichton; ed un approccio 'soft' proprio della ricerca sociale, basato sull'adozione di una *survey* che indaga le componenti di percezione del rischio secondo i modelli già richiamati nel precedente paragrafo. Questo sviluppo ha come obiettivo di comprendere il divario che il rischio oggettivo e il rischio percepito hanno nella dimensione locale, e dunque gli elementi di criticità che impediscono l'adozione delle rilevanti misure di mitigazione del rischio sismico. Il metodo consente di indagare tali criticità e intervenire con appropriate *policy* per colmare questo *gap*. Il punto di arrivo del lavoro di ricerca è quello di tarare le *policy*, individuando un indice (SPPi, *Seismic Prevention Policy Index*) che, attraverso la gerarchizzazione degli interventi, orienta le *policy* in relazione agli attuali livelli di rischio percepito.

Figura 6.3| Metodologia generale



6.4 Rischio Oggettivo

La valutazione del rischio fisico nel contesto urbano è calcolato con riferimento al modello di Crichton (1999). Secondo questo modello il rischio (R_o) dipende da tre elementi: pericolo (H), vulnerabilità (V), esposizione (E). Nella metodologia adottata la scala di indagine è riferita al quartiere, in cui si identificano i fattori di vulnerabilità, esposizione e pericolo.

Più in dettaglio si assume che il pericolo dipenda dalla probabilità che un edificio possa subire danneggiamenti in conseguenza di un sisma, e viene parametrizzato in relazione alla vulnerabilità sismica degli edifici. L'esposizione viene parametrizzata in funzione del numero degli abitanti presenti in ogni unità edilizia. La vulnerabilità degli abitanti è espressa in relazione alla popolazione di età superiore ai 74 anni e inferiore ai 6 anni (Morrow, 2008), per ogni unità edilizia.

La vulnerabilità sismica è la propensione di una struttura a subire un danneggiamento di un determinato livello a fronte di un evento sismico di una data intensità. Per valutare la vulnerabilità sismica di un edificio dopo che si è verificato un terremoto è sufficiente rilevare i danni che sono stati provocati, associandoli all'intensità della scossa subita. Molto più complessa è invece la valutazione della vulnerabilità degli edifici prima che si verifichi un evento sismico. Il modello utilizzato per la valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici si basa su metodi statistici in funzione dei quali viene assegnato un punteggio di vulnerabilità agli edifici. A tal fine sono stati messi a punto numerosi studi in diversi paesi (Formisano et al., 2011; Giovinazzi e

Lagomarsino, 2006; Grünthal, 1998; Mouroux et al., 2008; Vicente et al., 2011).

Il metodo di seguito riportato si riferisce al metodo GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti) per la prima volta proposto da Benedetti e Petrini (1984), che si basa sulla definizione di opportune schede per il rilevamento della vulnerabilità degli edifici esistenti, attraverso l'individuazione di precisi parametri in ragione del sistema strutturale, muratura o cemento armato.

La vulnerabilità degli edifici in cemento armato viene calcolata in funzione di sette parametri (età, sistema resistente, tensione normale media pilastri del 1° livello, regolarità in pianta, tipologia tamponature 1° livello, elementi non strutturali, posizione dell'edificio e fondazioni) (OPCM-DRPC n.3105/2001⁵⁸), a cui vengono attribuiti i corrispettivi punteggi in funzione dei valori assunti dagli indicatori stessi (Tabella 6.1).

Tabella 6.1 | Scheda speditiva per la valutazione preliminare dell'indice di vulnerabilità sismica (OPCM-DRPC n.3105/2001).

	INDICATORE	Meno vulnerabile	Standard	Più vulnerabile	Punteggio
1	Età	-0,20	0,00	0,1875	-
2	Sistema Resistente	-0,20	0,00	0,1875	-
3	Tensione normale media dei pilastri al 1° livello	-0,20	0,00	0,1875	-
4	Regolarità in pianta	-0,20	0,00	0,1250	-
5	Tipologia tamponature al 1° livello	-0,20	0,00	0,1250	-
6	Elementi strutturali non	0,00	0,00	0,0625	-
7	Posizione dell'edificio e fondazioni	0,00	0,00	0,1250	-
	PUNTEGGIO TOTALE				$\sum K_i =$

L'indice di vulnerabilità sismica, per il j -esimo edificio ($j=1,2,\dots,n$) in cemento armato, viene stimato attraverso la formula (Cherubini et al., 2001):

$$(V_b)_j = V_m + 88 \sum_i k_i \quad \text{se } k_i \geq 0 \quad (6.1)$$

$$(V_b)_j = V_m + 37 \sum_i k_i \quad \text{se } k_i < 0 \quad (6.2)$$

dove:

V_m è il valore medio dell'indice di vulnerabilità per edifici in cemento armato;
 $\sum k_i$ è la sommatoria dei punteggi ottenuti dai valori attribuiti ad ognuno dei

⁵⁸ Ordinanza n. 3105, 7 febbraio 2001, Disciplina degli interventi di prevenzione sismica per gli edifici privati nei comuni della Sicilia orientale (province di Siracusa, Catania, Ragusa e Messina) (GU Serie Generale n.53 del 05-03-2001 - Suppl. Ordinario n. 43)

sette indicatori riportati in Tabella 1. I valori sono sommati al valore fisso $V_m=12$ e moltiplicati per 88, nel caso in cui la somma dei punteggi sia maggiore o uguale a 0, per 37 nel caso in cui la somma sia inferiore a zero. In questo modo il campo di variabilità dell'indice di vulnerabilità è compreso tra -25 e 100.

La vulnerabilità degli edifici in muratura portante viene calcolata in ragione di nove parametri (efficienza dei collegamenti tra i muri, qualità delle murature, posizione dell'edificio e terreno di fondazione, resistenza convenzionale, strutture orizzontali, configurazione planimetrica, copertura, elementi non strutturali, stato di fatto) di cui si sommano i punteggi attribuiti ad ogni classe ottenendo un indice di vulnerabilità sismica compreso tra 0 e 100 (OPCM-DRPC n.3105/2001) (Tabella 6.2).

Tabella 6.2| Scheda speditiva per la valutazione preliminare dell'indice di vulnerabilità sismica (OPCM-DRPC n.3105/2001).

Parametro	A	B	C	D	Punteggio
1 Efficienza dei collegamenti tra muri	0	0	7,1	16	
2 Qualità delle murature	0	0,9	3,6	8	
3 Posizione dell'edificio e terreno di fondazione	0	0,5	6,2	12	
4 Resistenza convenzionale	automatico				
5 Strutture orizzontali	0	0,9	2,7	8	
6 Configurazione Planimetrica	0	0,9	4,4	8	
7 Copertura	0	2,7	4,4	8	
8 Elementi non strutturali	0	1,78	3,56	5,33	
9 Stato di fatto	0	3,56	7,11	10,67	
INDICE DI VULNERABILITA'					

Gli indici di vulnerabilità per edifici in cemento armato e muratura portante vengono normalizzati rispetto al valore massimo.

Di seguito si definisce il rischio fisico per il j -esimo edificio, con $j=1,2,\dots,n$, espresso dalla formula:

$$(R_o)_j = \frac{(V_b)_j}{\max[(V_b)_j]} \frac{(V_{6-74})_j}{\max[(V_{6-74})_j]} \frac{(E_{ab})_j}{\max[(E_{ab})_j]} \quad (6.3)$$

in cui:

$(V_b)_j$ il pericolo dipendente dalla probabilità che un edificio possa subire danneggiamenti in conseguenza di un sisma, parametrizzato in relazione alla vulnerabilità sismica del singolo edificio;

$(V_{6-74})_j$ la vulnerabilità degli abitanti espressa in relazione alla popolazione di età inferiore ai 6 anni e superiore ai 74 anni per ogni edificio;

$(E_{ab})_j$ l'esposizione degli abitanti per ogni edificio.

Tutte le grandezze considerate nell'equazione (6.3) vengono normalizzate ai loro valori massimi per ogni edificio. Inoltre, il valore dell'indice di rischio

oggettivo viene a sua volta normalizzato nell'intervallo 0-1 (normalizzazione min-max).

6.5 Rischio Percepito

Sulla base di due modelli di riferimento, il modello di Martin et al. (2009) e il modello Hofer e Hamann (2016), vengono selezionati gli indicatori necessari a definire la percezione del rischio e la propensione al cambiamento. La Figura 6.1 riporta lo schema adottato dai modelli Martin et al. e Hofer & Hamann, da cui la presente metodologia di ricerca si applica.

Gli indicatori selezionati dal modello di Martin et al. sono: conoscenza soggettiva, precedenti esperienze con il pericolo, auto-efficacia. Gli indicatori selezionati dal modello Hofer & Hamann sono fattori personali e sociali, natura e caratteristiche dei disastri.

Conoscenza soggettiva, esperienze con il pericolo, auto-efficacia.

Quello che gli individui credono di sapere riguardo al rischio è la conoscenza soggettiva dei rischi (Martin et al., 2009). La letteratura di settore ha dimostrato che coloro i quali hanno una maggiore esperienza di un determinato rischio hanno maggiore consapevolezza e conoscenza del dato pericolo e adottano strategie alternative per affrontarlo attraverso l'adozione di comportamenti di riduzione del rischio (Lindell e Perry, 2000; Lindell e Withney, 2000). La conoscenza soggettiva è inoltre basata sull'esperienza diretta (evacuazione dalle case, perdita di beni, o altre esperienze simili) e indiretta (passaparola, informazioni avute da parenti e amici, etc.) rispetto ad un particolare tipo di rischio. L'esperienza personale e diretta ha un impatto notevole sul riconoscimento del rischio e sulla propensione a proteggere se stessi e i propri beni. Anche la memoria di eventi devastanti influenza la percezione del rischio di coloro che sono stati direttamente o indirettamente colpiti (Hofer & Hamann, 2016). Le esperienze del passato rappresentano il punto di partenza per la formazione della conoscenza soggettiva del rischio e possono essere utili ad influenzare il processo di *decision-making* (Slovic, 1987). Sattler et al. hanno riscontrato che gli individui tendono a basare la propria consapevolezza del rischio di pericoli futuri sull'estensione del danno potenziale e sullo stress psicologico causato da esperienze passate (Sattler et al., 1995). Gli autori hanno riscontrato che le persone percepiscono le esperienze passate come indicatori di potenziali futuri esperienze negative. Inoltre l'esperienza con un rischio aumenta il rischio percepito immediatamente dopo l'evento (Burton et al., 1993, Mileti et al., 1975) e si riduce rapidamente con il trascorrere del tempo (Weinstein, 1989; Sims & Baumann, 1983).

L'auto-efficacia (*self-efficacy*) è definita come la percezione individuale delle proprie capacità organizzative nell'eseguire azioni necessarie a gestire situazioni di rischio (Bandura, 1977). Gli individui con alta *self-efficacy* si

percepiscono come capaci di processare, analizzare, e prendere le decisioni migliori rispetto a un numero limitato di informazioni (Mitchell and Dacin, 1996). La ricerca ha dimostrato che le azioni di mitigazione del rischio vengono intraprese più facilmente quando gli individui sono più sicuri delle loro abilità di proteggersi e di proteggere la loro proprietà (Lindell e Prater, 2002; Martin et al., 2008). La lunga tradizione di ricerca nel campo della *Protection Motivation Theory* - PMT fornisce sostegno a questa ipotesi (Rogers, 1983).

Fattori personali e sociali, natura e caratteristiche dei disastri.

Il contesto sociale è sia innato, come la famiglia di origine, che selezionato in maniera attiva o passiva dagli individui stessi, come per esempio la cerchia di amici, la comunità di interesse religiosa o politica, le associazioni non governative, i social media. Tutte le esperienze che un individuo fa all'interno della sua rete sociale fanno parte della sua identità, delle sue convinzioni e delle sue attitudini. Fattori generici possono comunque influenzare la maniera in cui gli individui percepiscono il rischio: per esempio le variabili socio-economiche, vivere in ambiente urbano o rurale, tutto influenza il livello individuale di preparazione al rischio.

Il contesto sociale di un individuo rappresenta un aspetto importante della sua percezione del rischio. Secondo una ricerca di Armaş (2006), basata su un'analisi dettagliata della letteratura di settore, le attitudini di un individuo e la sua percezione del pericolo variano in relazione a variabili socio-economiche: genere (Granger et al., 1999; Fordham, 2000), età (Davidson, 1997; Granger et al., 1999; King and MacGregor, 2000; Pelling, 2003), impiego e istruzione (Buckle, 2000), tipologia di proprietà (Young, 1998). Secondo questa ricerca le persone più anziane risultano essere più vulnerabili, influenzando la loro percezione del rischio. Inoltre esiste una profonda differenza nel modo in cui uomini e donne percepiscono il pericolo. L'impiego e il livello di istruzione possono offrire informazioni utili sulle capacità adattive di una persona.

La natura e caratteristica di un disastro descrivono il tipo di pericolo e i suoi effetti sulla percezione individuale. I pericoli naturali, come i terremoti, sono spesso rappresentati come eventi improvvisi e nelle loro manifestazioni più acute causano profonde devastazioni. Nonostante questi aspetti, i rischi naturali sono percepiti come meno pericolosi nella scala di percezione del rischio rispetto ai pericoli tecnologici: risultati empirici dimostrano che a fronte dei danni che sono in grado di causare producono meno paura se confrontati ai pericoli tecnologici (Hofer & Hamann, 2016). La necessità di valutare correttamente le potenziali disastrose conseguenze dei rischi naturali sottolinea la necessità di un certo livello di istruzione per migliorare la comprensione individuale o anche per essere maggiormente consapevoli di cosa rappresentino i rischi naturali e tecnologici (Wachinger e Renn, 2010).

Il rischio percepito viene analizzato attraverso la somministrazione di un questionario alle famiglie. Il questionario è suddiviso in relazione ai cinque indicatori richiamati nel paragrafo 6.2 del modello Martin et al. e Hofer & Hamann, necessari a definire la percezione del rischio sismico.

Ad ognuno dei cinque indicatori, che rappresentano le caratteristiche di conoscenza individuale ed esperienza del rischio -subjective knowledge, hazard experience, self-efficacy, social and personal factors, nature and features of disasters- corrispondono domande richiamate dalla letteratura sul tema. Oltre ai cinque indicatori il questionario mira a definire l'indice di propensione al cambiamento, che individua la disponibilità delle persone ad adottare comportamenti 'migliorativi' anche alla luce della presenza di incentivi che facilitino l'accesso alle risorse necessarie per l'adattamento sismico. Ogni domanda ha quattro possibilità di risposta, a cui viene associato un punteggio che varia da 1, molto basso a 4, alto. La sommatoria dei punteggi per ogni intervistato definisce il valore sintetico degli indici di conoscenza ed esperienza del rischio e di propensione al cambiamento, secondo le formule 6.4 e 6.5:

$$I_{KE} = \sum_{i=1}^n i_{KE}/n \quad (6.4)$$

$$I_{IC} = \sum_{i=1}^k i_{IC}/k \quad (6.5)$$

in cui:

i_{KE} rappresenta la variabile n -esima dell'indice di conoscenza ed esperienza del rischio;

i_{IC} rappresenta la variabile k -esima dell'indice di propensione al cambiamento;

n e k rappresentano il numero di variabili utili a definire l'indice I_{KE} e I_{IC} rispettivamente.

La valutazione del rischio, R_p (*Risk perceived*) sarà espressa dalla formula (Lovreglio et al., 2016):

$$(R_p)_j = e^{w_{KE} \langle I_{KE} \rangle_j + w_{IC} \langle I_{IC} \rangle_j} / \sum_{i=1}^n e^{w_{KE} \langle I_{KE} \rangle_i + w_{IC} \langle I_{IC} \rangle_i} \quad (6.6)$$

in cui:

$\langle \dots \rangle_j$ rappresenta la media di tutti i rispondenti che appartengono al j -th edificio;

w_{KE} rappresenta il contributo di conoscenza ed esperienza del rischio;

w_{IC} rappresenta il contributo della propensione al cambiamento.

L'effettiva valutazione del rischio percepito dipende anche dai pesi attribuiti alle variabili conoscenza ed esperienza individuali e alla propensione al cambiamento. I valori dei pesi attribuiti ai due indici potrebbero essere anche

essi stimati attraverso opportune indagini tra i rispondenti. In mancanza di tali indagini, si può attribuire lo stesso valore ai due pesi (tipicamente 0,5).

6.6 Seismic Policy Prevention Index

Il rapporto tra il valore stimato del rischio oggettivo e del rischio percepito definisce un indicatore di *policy*, definito di seguito *Seismic Prevention Policy Index (SPPi)*, definito dalla formula 6.7:

$$(SPPi)_j = \frac{(R_o)_j}{(R_p)_j} \quad (6.7)$$

Da questo valore individuato per singolo edificio, viene calcolato il valore medio per l'intero comparto urbano indagato, su tutti gli n edifici, espresso dalla formula:

$$(SPPi)_{AT} = \sum_{i=1}^n (SPPi)_j / n \quad (6.8)$$

con $(SPPi)_{AT}$ *Seismic Policy Prevention Index* dell'area di trasformazione urbana.

Attraverso l'indagine del divario esistente tra rischio oggettivo e rischio percepito il metodo proposto mira a comprendere gli elementi di criticità che impediscono l'adozione delle rilevanti misure di mitigazione del rischio sismico. Il metodo consente di indagare tali criticità e intervenire con appropriate *policy* per colmare questo *gap*. Il punto di arrivo del lavoro di ricerca consiste nel tarare dette *policy*, con l'utilizzo dell'indice SPPi che, attraverso la gerarchizzazione degli interventi, consenta di indirizzare le opzioni più appropriate di mitigazione del rischio sismico in relazione agli attuali livelli di rischio percepito.

L'indice viene ripreso nel Cap.8, par. 8.4, in applicazione del caso di studio.

Riferimenti bibliografici

Armaş I. (2006), Earthquake risk perception in Bucharest, Romania, In *Risk Analysis*, 26(5), 1223–1234.

<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2006.00810.x>

Bandura A. (1977), Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioural change, In *Psychological Review* 84 (2), 191–215.

Benedetti D., V. Petrini (1984), Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura: proposte di un metodo di valutazione, In *L'Industria delle Costruzioni*, 149: 66-74.

Burton I., R.W. Kates, G.F. White (1993), *The Environment as Hazard*, second ed. The Guilford Press, New York/London.

Buckle P. (2000), *Assessing resilience and vulnerability in the context of emergencies: Guidelines*, Melbourne: Department of Human Services.

Cherubini A., G. Cifani, M. Dolce, A. Martinelli, F. Brammerini, A. Goretti, F. Papa (2001), Nota metodologica per una prima stima del rischio sismico. GdL del Dipartimento della Protezione Civile, decreto n. 1382/2000 - Linee Guida per la presentazione dei dati del censimento di vulnerabilità sismica degli edifici pubblico-strategici.

Crichton, D. (1999), The Risk Triangle, In Ingleton J. (Ed.), *Natural Disaster Management*, Tudor Rose, London, 102-103.

Davidson R. (1997), An urban earthquake disaster risk index, Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering, Stanford University, CA, USA.

Fordham M. (2000), The place of gender in earthquake vulnerability and mitigation, In *Second Euro Conference on Global Change and Catastrophic Risk Management, Earthquake Risks in Europe, Austria, Laxenburg, Austria*.

Formisano A., G. Florio, R. Landolfo e F.M. Mazzolani (2011), Numerical Calibration of a Simplified Procedure for the Seismic Behaviour Assessment of Masonry Building Aggregates, In B.H.V. Topping and Y. Tsompanakis, (Eds.) *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland.

Granger K., T. Jones, M. Leiba, G. Scott (1999), Community Risk in Cairns: A Provisional Multi Hazard Risk Assessment, In Geoscience Australia.

Grünthal G. (Ed.) (1998), European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98) European Seismological Commission, sub commission on Engineering Seismology, Working Group Macroseismic Scales. Conseil de l'Europe, In *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, Vol. 15, Luxembourg.

Hofer J., K. Hamann (2016). D32 . 1 – Report on risk perception.

King D., C. MacGregor (2000), Using social indicators to measure community vulnerability to natural hazards, In *Australian Journal of Emergency Management*, 15(3), 52–57.

Khulicke C., A.Steinfuhrer, C.Begg, C.Bianchizza, M.Brundl, *et al* (2011), Perspectives on social capacity building for natural hazards: outlining an emerging field of research and practice in Europe, In *Environmental science & policy* 14, pgg. 804-414.

Lagomarsino S., S. Giovinazzi (2006), Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings, In *Bull. Earthq. Eng.* 4, pp. 415–443.

Lindell M.K., R.W Perry (2000), Household adjustment to earthquake hazard: a review of the literature, In *Environment and Behavior* 32 (4), 461–501.

Lindell M.K., D.J. Whitney (2000), Correlates of household seismic hazard adjustment adoption, In *Risk Analysis* 20 (1), 13–25.

Lindell M.K., C.S. Prater (2002), Risk area residents' perceptions and adoption of seismic hazard adjustments, In *Journal of Applied Social Psychology* 32 (11), 2377–2392.

Lovreglio R., A. Fonzone, L. dell'Olio (2016), A mixed logit model for predicting exit choice during building evacuations, In *Transportation Research Part A* 92, 59–75.

Martin I.M., H. Bender, C. Raish (2008), Making the decision to mitigate, In Martin W.E., Raish C., Kent B. (Eds.) *Wildfire Risk: Human Perceptions and Management Implications*. Resources for the Future Press, Washington, DC, pp.117–141.

Martin W.E., I. Martin, B. Kent B (2009), The role of risk perceptions in the risk mitigation process: The case of wildfire in high risk communities, In *Journal of Environmental Management* 91, pp. 489–498.

Mela A., Belloni M.C., Davico L. (2003), *Sociologia e progettazione del territorio*, Carocci Editore, Roma.

Mitchell A.A., P.A. Dacin (1996), The assessment of alternative measures of consumer expertise, In *Journal of Consumer Research* 23, 219–239.

Mileti D. S., T.E. Drabek, J.E. Haas (1975), *Human Systems in Extreme Environments: A Sociological Perspective*, Boulder: Institute of Behavioral Science, University of Colorado.

Morrow B.H. (2008), Community resilience: a social justice perspective, CARRI Research Report, 4.

Mouroux P., B. Le Brun (2008), Risk-Ue Project: an advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different European towns, In Oliveira C.S., A. Roca, X. Goula (Eds.) *Assessing and Managing Earthquake Risk, Geotechnical, Geological And Earthquake Engineering*, vol 2. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3608-8_23

Pelling M. (2003), *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*, London, UK: Earthscan Publications.

Rogers R.W. (1983), Cognitive and physiological processes in fear appeals and attitude change: a revised theory of protection motivation, In Cacioppo J., Petty R. (Ed.), *Social Psychophysiology*. Guilford Press, New York.

Sattler D.N., C.F. Adams, B. Watts (1995), Effects of personal experience on judgments about natural disasters, In *Journal of Social Behavior and Personality* 10, 891–898.

Sims J. H., D.D. Baumann (1983), Educational programs and human response to natural hazards, In *Environment and Behavior*, 15, 165–189.

Slovic P. (1987), Perception of Risk, In *Science*, Vol 236, Issue 4799, pp. 280-285.

Young E. (1998), Dealing with hazards and disasters: Risk perception and community participation in management, In *Australian Journal of Emergency Management*, 13(2), 14–16.

Vicente R., S. Parodi, S. Lagomarsino *et al.* (2011), Seismic vulnerability and risk assessment: case study of the historic city centre of Coimbra, Portugal, In *Bull Earthquake Eng* 9, 1067–1096. <https://doi.org/10.1007/s10518-010-9233-3>.

Wachinger G., O. Renn (2010), Risk perception and natural hazards, WP3-Report of the CapHaz-Net Projekt, <http://www.caphaz-net.org>.

Weinstein N.D. (1989), Effects of personal experience on selfprotective behaviour, In *Psychological Bulletin*, 105(3), 31–50

PARTE TERZA

L'APPLICAZIONE METODOLOGICA

CAPITOLO 7 • Caso di studio | L'Area Metropolitana di Catania

7.1 Introduzione

La Sicilia sud-orientale è riconosciuta come una tra le zone più sismiche d'Italia. È infatti dominata a sud dai Monti Iblei, che rappresentano la porzione settentrionale della placca continentale africana in collisione con l'arco calabro-peloritano a nord. La sismicità di quest'area è da correlarsi alla tettonica regionale, che determina l'accumulo progressivo di deformazione elastica all'interno della crosta terrestre (Petrucci, 2015). La collisione genera l'accumulo di *stress* e la liberazione di energia sismica, con terremoti forti e periodi di ritorno tipicamente lunghi (Petrucci, 2015).

Si registrano documentazioni storiche di terremoti già a partire dal 1169. Nel 1693 si registra in Sicilia sud-orientale una delle più gravi sequenze sismiche, la più forte delle quali si stima pari al X-XI grado della scala MCS, colpendo una vasta parte del Val di Noto. Catania insieme con altri comuni subirono danni inestimabili; molti di questi furono completamente rasi al suolo, alcuni abbandonati ed altri ancora furono ricostruiti in altro luogo.

In questo contesto di criticità, l'Area Metropolitana di Catania rappresenta una delle più grandi conurbazioni siciliane assieme a Palermo e a Messina. Tra gli anni '50 e l'inizio degli anni '60, la città è stata interessata da una forte crescita demografica che ha comportato un periodo di notevole espansione urbana: il modello insediativo corrisponde a questo tipo di dinamiche demografiche, alimentato dalla speculazione fondiaria, dalla politica delle opere pubbliche e dalla lievitazione del terziario, soprattutto quello connesso con il pubblico impiego. A partire dai primi anni del 1970 si manifestò un graduale flusso migratorio dalla città principale verso i comuni etnei e quelli costieri settentrionali e lo slittamento dell'area urbanizzata di Catania al di fuori dei limiti comunali. Questo processo fu condizionato dall'espulsione della popolazione dalle aree più degradate del centro storico, dall'aumento della mobilità veicolare, dalla saturazione delle aree edificabili entro i limiti comunali, e dall'estendersi della speculazione edilizia verso i comuni periferici, che configurava fenomeni di suburbanizzazione diffusa prima e di parziale disurbanizzazione poi (Ruggiero et al., 2008).

L'incremento urbano è stato la causa della parziale erosione degli insediamenti rurali sulle pendici del Monte Etna (La Greca et al., 2017): si è determinato uno sviluppo considerevole delle aree urbanizzate che ha coinvolto i comuni pedemontani e quelli costieri, dando infine luogo ad un'espansione disordinata, avvenuta principalmente in assenza di misure di prevenzione anti-sismica.

Come evidenzia uno studio dell'Ance/Cresme (2012), nella quota di territorio italiano a più elevato rischio sismico si stima che ricadano 10,7 milioni di abitazioni e 5,4 milioni di edifici. Tra questi, gli edifici prevalentemente

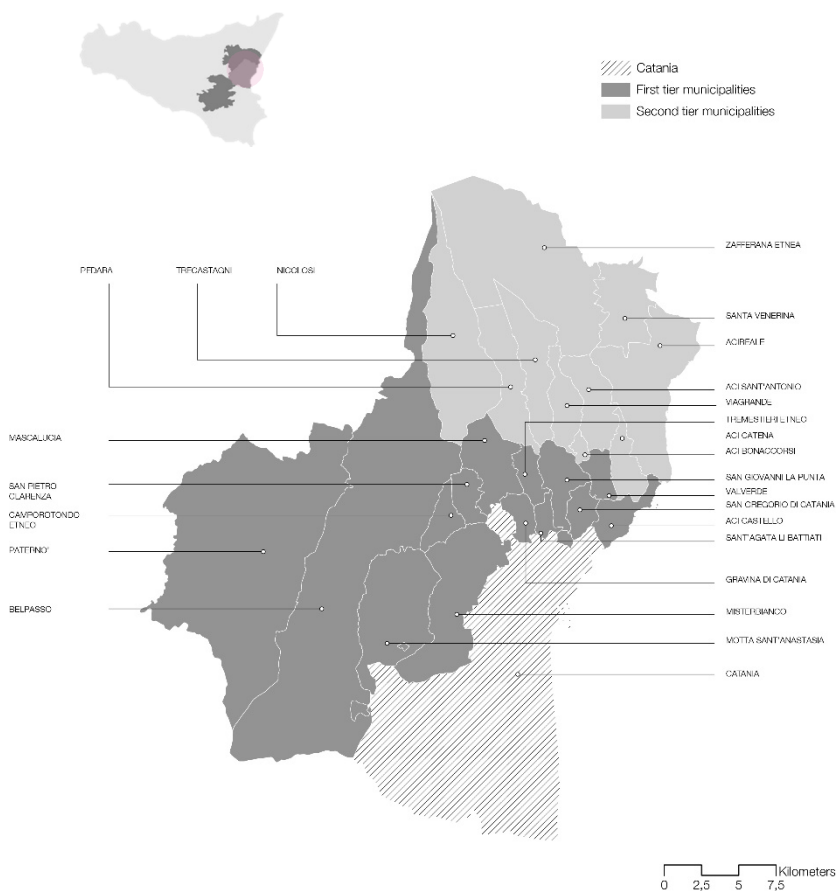
residenziali corrispondono all'86% mentre quelli non residenziali (scuole, ospedali, alberghi, chiese, centri commerciali) o inutilizzati rappresentano il 14%⁵⁹. Le regioni più colpite dal problema dell'esposizione del patrimonio edilizio sono la Sicilia e la Campania. In particolare, stima l'Ance/Cresme, in Sicilia esistono quasi 2,5 milioni di abitazioni nelle aree di rischio più elevato. Gli edifici ricadenti in queste aree sono quasi 1,5 milioni, di cui oltre 1,2 milioni sono ad uso prevalentemente residenziale. La particolare condizione di rischio, emerge inoltre dalla condizione di elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio italiano, strettamente legato al suo stato di conservazione. La Sicilia presenta un primato con un elevato numero di edifici (seconda solo alla Lombardia), costruiti prima del 1974 (Legge n.64/1974 – prima normativa antisismica per nuove costruzioni in zona sismica) e una quota di territorio consistente esposta ad elevato rischio sismico.

⁵⁹ Questa stima è stata sviluppata in base alla percentuale di popolazione che risiede in zona sismica 1 e 2 rispetto alla quale è stata determinata la quota di edifici esposti a rischio potenziale.

7.2 Caso di studio: l'Area Metropolitana di Catania

L'Area Metropolitana di Catania (AMC) è collocata lungo la costa Orientale della Sicilia (Italia), alle pendici del Monte Etna. Il sistema metropolitano, oggetto dell'analisi condotta, caratterizzato da una popolazione residente di 749 367 abitanti (demoistat, 1° Gennaio 2020), è costituito da 25 comuni che rappresentano la quasi totalità di quelli compresi nella denominazione di Area Metropolitana che fu formalizzata dalla Regione Siciliana nel 1995⁶⁰ e che comprendeva 27 comuni (Figura 7.1), con una superficie complessiva di 893 ha.

Figura 7.1 | L'Area Metropolitana di Catania, con la distinzione dei Comuni di prima corona (comuni contermini a Catania) e dei Comuni di seconda corona.



Circa il 60 % della popolazione della AMC vive nei comuni più vicini alla città principale, totalmente inglobati nella città, che con il tempo e con l'espansione urbana hanno acquisito il ruolo di 'quartieri residenziali della città' (Progetto di programma di sviluppo socio-economico, 2009-2011). L'AMC è suddivisa nelle conurbazioni dei comuni di 'prima corona', aggregati a grappolo a ridosso del capoluogo (Figura 1, comuni in grigio scuro), e le conurbazioni del versante sud-orientale del distretto vulcanico etneo, i

⁶⁰ L'Area Metropolitana di Catania fu istituita con decreto del presidente della Regione Siciliana 10/8/1995 e successiva Legge Regionale 9/1986.

cosiddetti comuni di 'seconda corona' (Figura 1, comuni in grigio chiaro). I comuni di 'prima corona' sono: Motta Sant'Anastasia, Misterbianco, Paternò, Belpasso, Camporotondo, San Pietro Clarenza, Sant'Agata Li Battiati, Mascalucia, Tremestieri, San Giovanni La Punta, San Gregorio, Valverde, Aci Castello. I comuni di 'seconda corona' includono: Nicolosi, Pedara, Trecastagni, Zafferana Santa Venerina, Viagrande, Aci Bonaccorsi, Aci Sant'Antonio, Aci Catena, Acireale, Gravina di Catania.

Tabella 7.1 | Area totale per singolo comune. Area totale edificata e percentuale rispetto alla superficie complessiva (dati Carta Tecnica Numerica, Sistema Informativo Territoriale Regionale della Sicilia (SITR). Consumo di suolo (dati ISPRA 2020).

Municipalities	Total Area (ha)	Built-up area (ha)	Built-up area (%Total Surface)
Aci Bonaccorsi	172	20.21	11.79
Aci Castello	871	65.35	7.51
Aci Catena	853	70.79	8.30
Aci Sant'Antonio	1433	72.79	5.08
Acireale	4043	235.01	5.81
Belpasso	16633	158.47	0.95
Camporotondo E.	655	15.89	2.43
Catania	18290	1104.15	6.04
Gravina di C.	515	65.43	12.70
Mascalucia	1628	127.85	7.85
Misterbianco	3768	202.05	5.36
Motta S. Anastasia	3571	52.70	1.48
Nicolosi	4265	49.78	1.17
Paternò	14468	145.59	1.01
Pedara	1923	79.95	4.16
S. Giovanni L.P.	1085	104.31	9.62
San Gregorio	565	57.11	10.11
San Pietro C.	627	25.08	4.00
Santa Venerina	1903	34.67	1.82
S. Agata Li Battiati	312	34.88	11.16
Trecastagni	1916	59.72	3.12
Tremestieri E.	652	66.384	10.19
Valverde	552	32.30	5.85
Viagrande	1009	37.74	3.74
Zafferana E.	7687	52.221	0.68
Total CMA	89397	2971	5.68

In Tabella 7.1 vengono riportati i dati relativi alle superfici complessive dei singoli comuni, alle aree edificate, in ettari e in percentuale; la superficie edificata rappresenta l'area coperta esclusivamente da edifici ed è complessivamente il 5,68% della superficie dell'AMC.

Approssimativamente il 45,5% dell'intero patrimonio edilizio è stato costruito prima del 1964, mentre tra il 1964 e il 1985 il processo di espansione urbana ha registrato un incremento del patrimonio edilizio del 36,85%, in massima parte senza alcuna misura di tutela nei confronti del pericolo sismico (Tabella 7.2). Soltanto a partire dal 1981, con Legge N. 741, le Regioni ebbero l'obbligo di emanare «norme per l'adeguamento degli strumenti urbanistici

generali e particolareggiati vigenti, nonché i criteri per la formazione degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione del rischio sismico»; disposizione recepita in Sicilia con L.R. 135/1982. Questo ha comportato che soltanto il 16% del patrimonio edilizio è stato costruito con caratteristiche di resistenza sismica e che un considerevole numero di edifici è stato costruito senza autorizzazioni formali, una pratica piuttosto comune nell'Europa Mediterranea e in Italia. (Allen et al., 2004; Chiodelli et al., 2020).

Tabella 7.2 | Crescita numerica e percentuale del patrimonio edilizio per intervallo di tempo nell'AMC₂₅.

Period	Increase	Percentage	Cumulative
Before 1928	59053	28.54%	28.54%
1928-1964	37369	18.06%	46.60%
1964-1985	76249	36.85%	83.45%
1985-1999	21892	10.58%	94.03%
After 1999	12353	5.97%	100%

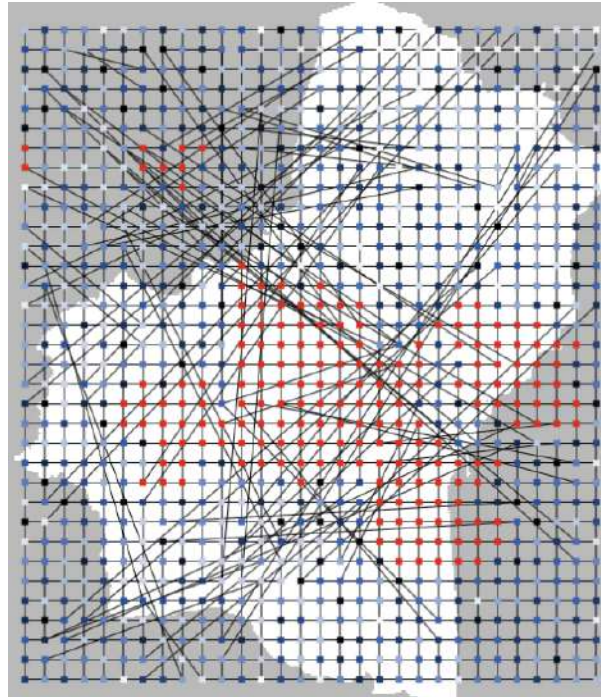
7.3 Applicazione del modello OFC

Topologia rete Small-world

Il *flowchart* in Figura 5.5 (v.Cap. 5, par. 5.3.4) descrive i passaggi principali di implementazione del modello OFC di dinamica sismica.

L'Area Metropolitana di Catania viene modellata con un rete bidimensionale di lato $L=39,9$ km e altezza $H=45$ km, con $N=1020$ nodi e $K=1976$ connessioni, al fine di rendere il grafo una rete *small-world*. La Figura 7.2 mostra sullo sfondo i confini dell'Area Metropolitana di Catania, su cui è sovrapposta la rete bidimensionale.

Figura 7.2 | Reticolo bidimensionale $L \times H$ del modello OFC, con connessioni a lungo raggio. Il colore dei nodi nella scala dei grigi è proporzionale al loro stress sismico. I nodi in rosso sono quelli attivati dal terremoto di dimensione S. Sullo sfondo in bianco l'area metropolitana di Catania.



I database edilizio e geologico adottati per l'implementazione del modello sono integrati nel software programmabile *NetLogo* dalla Piattaforma ArcGIS® (*Geographic Information System*).

Database del patrimonio edilizio urbano

L'Area Metropolitana di Catania ha un patrimonio edilizio di 206 916 edifici. Lo studio, basato sulle cartografie storiche disponibili⁶¹, ha portato a rappresentare una mappa della crescita degli insediamenti urbani all'interno dell'area metropolitana, a partire dai primi anni del '900 fino al 2016 (Tabella 7.3). La cartografia storica del tessuto urbano è stata sovrapposta alla cartografia rilasciata dal Sistema Informativo Territoriale Regionale della Sicilia (SITR), in particolar modo la Carta Tecnica Numerica⁶² in scala 1:2000 al fine di ottenere una datazione storica dell'intero territorio costruito. La crescita urbana è stata quantificata e mappata misurando l'incremento del

⁶¹ Il lavoro di ricognizione delle cartografie storiche è stato elaborato dalla scrivente su dati sviluppati presso il Lapta, Laboratorio per la progettazione territoriale e urbana del Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, dell'Università di Catania.

⁶² <https://www.sitr.regione.sicilia.it/download/download-carta-tecnica-2000/>.

Il Sistema Informativo Territoriale Regionale suddivide le entità territoriali in strati informativi, raggruppandole per affinità logiche. Per la realizzazione della Cartografia a scala 1:2.000 sono stati previsti i seguenti strati, in analogia alla CTR 1:10.000: Sistema delle comunicazioni; Edificato ed altre strutture; Acque; Strutture connesse alla produzione e trasporto di energia; Elementi divisorii e di sostegno; Morfologia; Vegetazione; Orografia; Toponimi; Punti di inquadramento.

patrimonio edilizio corrispondente a sei date principali (1924, 1928, 1964, 1985, 1999, 2016).

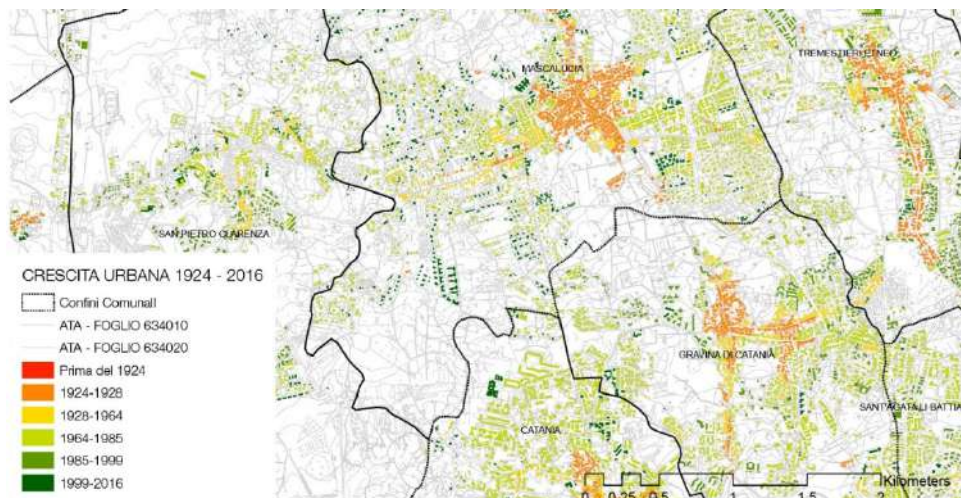
Tabella 7.3 | Fonti cartografiche.

Periodo di riferimento	Fonte cartografica
1924	IGM 1924 (scala 1.25.000)
1924 -1964	Carta "STR" della Provincia di Catania 1964 (scala 1.10.000)
1964 -1985	CTR 1985 (scala 1.10.000)
1985 -1999	CTR 1998 (scala 1.10.000)
1999 -2007	CTR ATA 2007 (scala 1.10.000)
2007-2016	CTR ATA 12-13 (scala 1.10.000) Google Earth

La mappa risultante conferisce per ogni edificio del tessuto urbano la data in cui è presente nella mappa corrispondente (Figura 7.3). Questo permette di stimare il periodo di costruzione di ogni edificio.

In aggiunta, la Carta Tecnica Numerica, contiene le informazioni volumetriche relative agli edifici cartografati, assieme ai dati di altezza e superficie. Ogni edificio è stato, dunque, caratterizzato dal suo volume, altezza e anno di costruzione nel Database.

Figura 7.3| Crescita urbana, con indicazione della datazione di ogni edificio in funzione della sua presenza nelle mappe storiche.



Le informazioni relative alla datazione degli edifici consentono di effettuare un'approssimazione della tipologia strutturale dell'edificio.

Come introdotto nella Parte metodologica (PARTE II), per stimare l'entità dei danni causati da un sisma, vengono effettuate le analisi di vulnerabilità. Il metodo adottato per la valutazione macrosismica della vulnerabilità è basato sul modello proposto da Lagomarsino e Giovinazzi che associa casualmente alle due principali tipologie costruttive presenti nell'area indagata, cemento armato e muratura, degli opportuni *ranges* di vulnerabilità, V_{min} e V_{max} in base al livello di progettazione sismo-resistente (*ERD*, *Earthquake Resistent*

Design), dove V_{min} corrisponde ad un alto livello di *ERD* e V_{max} alla totale assenza di *ERD* (Tabella 7.4). Per ogni edificio la vulnerabilità iniziale V_0 viene indicata come la differenza $V_{min} - V_{max}$, suddivisa nei seguenti livelli:

bassa ($-0,02 < V_0 < 0,3$), media ($0,3 \leq V_0 < 0,65$), alta ($0,65 \leq V_0 \leq 1,02$).

Tabella 7.4 | Criteri di assegnazione della Vulnerabilità iniziale agli edifici, in funzione della data di costruzione, delle caratteristiche geometriche (Rapporto H/L) e della tipologia strutturale.

Buildings Typology	Date of construction	% buildings	Ratio H/L	% buildings	$V_{min} - V_{max}$
Masonry	Before 1924	28.54	<0.5	7.80	0.35 - 0.4
			$\geq 0.5 < 2$	19.16	0.3 - 0.65
			≥ 2	1.6	0.15 - 0.85
	1924-1964	18.06	<0.5	5.46	0.3 - 0.4
			$\geq 0.5 < 2$	11.55	0.3 - 0.6
			≥ 2	1.07	0.2 - 0.8
1965-1985	36.85	<0.5	14.04	0.3 - 0.3	
		$\geq 0.5 < 2$	21.20	0.55 - 0.3	
		≥ 2	1.60	0.8 - 0.2	
Reinforced Concrete	1986-1999	10.58	<0.5	4.50	0.14 - 0.4
			$\geq 0.5 < 2$	5.78	0.5 - 0.3
			≥ 2	0.2	0.7 - 0.3
	2000-2016	5.97	<0.5	2.79	-0.02 - 0.25
$\geq 0.5 < 2$			3.10	0.2 - 0.35	
			≥ 2	0.08	0.5 - 0.2

A causa della frequenza asimmetrica di distribuzione della vulnerabilità iniziale, al posto del valore medio, per ogni comune viene individuato il valore maggiormente espresso, la moda, come mostrato in Tabella 7.5.

Specificamente, i comuni di Gravina, Paternò, Nicolosi, Acireale e Trecastagni si trovano nei *ranges* più alti di vulnerabilità compresi tra 0,76 e 0,68. Paternò ha la maggior percentuale di edifici, il 41% costruiti prima del 1928, il 30% costruiti tra il 1965 e il 1985, e il restante 29% tra il 1985 e il 1999. Acireale ha la più ampia percentuale di edifici, il 41% costruiti prima del 1928; il 40% è stato costruito tra il 1928 e il 1985. Nicolosi ha il 90% degli edifici costruiti prima del 1985 e la stessa percentuale ha Gravina di Catania, mentre il 61% degli edifici di Trecastagni è stata costruita prima del 1985.

Questi valori mostrano un patrimonio edilizio profondamente vulnerabile in quanto costruito quasi integralmente in assenza di criteri antisismici. Infatti, come si evince dalla Tabella 2, più dell'80% degli edifici è stato costruito senza criteri di resistenza anti-sismica.

Tabella 7.5 | Moda (valore maggiormente espresso) della vulnerabilità iniziale (V_0) per ogni comune.

Mode of initial vulnerability per municipality			
Aci Bonaccorsi	0.67	Aci Castello	0.62
Aci Catena	0.62	Acireale	0.68
Aci Sant'Antonio	0.62	Belpasso	0.64

Camporotondo	0.62	Catania	0.64
Gravina	0.76	Mascalucia	0.52
Misterbianco	0.66	Motta SA	0.60
Nicolosi	0.69	Paternò	0.70
Pedara	0.52	San Giovanni LP	0.52
San Gregorio	0.19	San Pietro C.	0.51
Sant'Agata L.B.	0.54	Santa Venerina	0.57
Trecastagni	0.68	Tremestieri E.	0.52
Valverde	0.53	Viagrande	0.66
Zafferana E.	0.60		

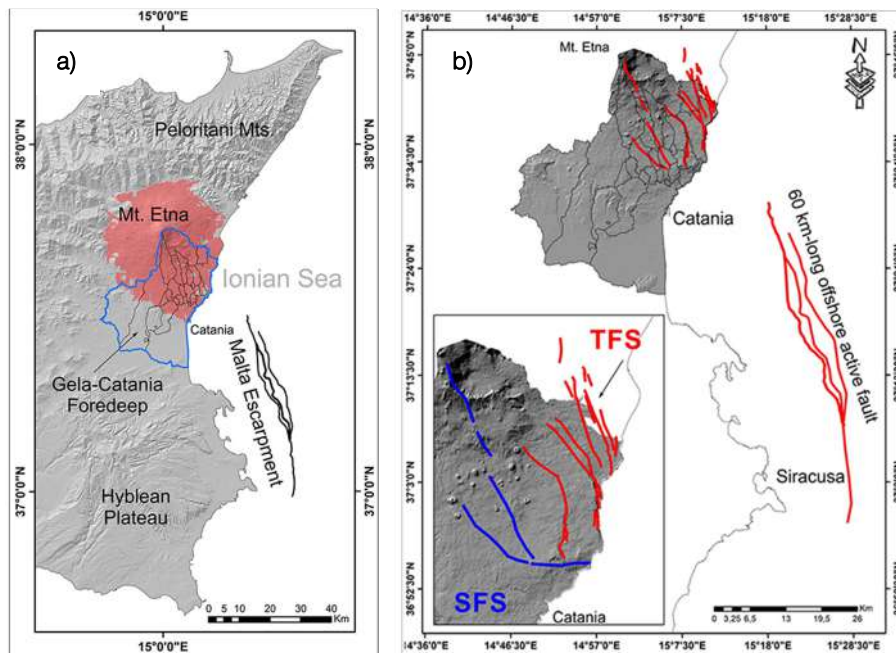
Database geologico

L'Area Metropolitana di Catania ricade all'interno del contesto geo-tettonico della Sicilia Orientale, comprendente parte del Vulcano Etna e dell'avanfossa Catania-Gela (Figura 7.4a).

L'area indagata può essere suddivisa in base alle rocce affioranti in due domini; un dominio settentrionale, caratterizzato da un substrato roccioso rigido di unità vulcaniche e uno meridionale, caratterizzato da un substrato roccioso morbido di origine sedimentaria. In questo quadro, le aree urbanizzate dei comuni considerati si sono sviluppate per lo più su un substrato rigido vulcanico ad eccezione di quelle poste in prossimità del confine tra i domini settentrionale (vulcanico) e meridionale (sedimentario).

Tra questi, parti degli agglomerati urbani di Belpasso, Motta Sant' Anastasia, Misterbianco, Aci Castello, e la porzione meridionale dell'insediamento urbano di Catania, si basano su un morbido substrato roccioso sedimentario.

Figura 7.4| L'Area Metropolitana di Catania in blu nel contesto geo-tettonico della Sicilia Orientale, con l'individuazione del Vulcano Etna a nord, e l'avanfossa Catania-Gela a sud (a). Sistema di faglie variamente orientate conosciute come il Timpe Fault System: il sistema composto da 20 segmenti di faglia responsabili di terremoti molto superficiali, ma distruttivi (b).



Questo aspetto potrebbe avere notevoli implicazioni sul comportamento del substrato roccioso sotto condizioni dinamiche, poiché anche l'amplificazione del sito delle onde sismiche è una funzione della stratificazione rocciosa del sottosuolo e lo spessore del substrato roccioso rigido. Questi effetti geologici locali, noti come 'effetti di sito', possono amplificare o de-amplificare il moto sismico del suolo, producendo differenze nell'intensità dello scuotimento.

Il settore indagato si trova in un'area tettonicamente instabile dove la tettonica locale e regionale interagiscono tra loro a ritmi diversi. La tettonica locale è per lo più correlata alla dinamica del Vulcano Etna e in particolare del suo fianco orientale (Azzaro et al., 2013). Il campo di deformazione risultante è quindi caratterizzato da sistemi di faglie variamente orientate (Figura 3b) la cui attività recente rende il versante orientale del vulcano la regione tettonicamente più attiva dell'edificio vulcanico (Azzaro et al., 2011).

Un importante insieme di faglie attive, localmente conosciute come il *Timpe Fault System* (TFS in Figura 7.4b), si incontrano all'angolo nord-orientale dell'area investigata con una direzione NNO-SSE. Il sistema è costituito da almeno 20 segmenti di faglia (Barreca et al., 2013), responsabili negli ultimi secoli di terremoti molto superficiali (<5-6 km), ma distruttivi, di bassa magnitudo ($M < 4,5$) (Azzaro et al., 1989; Azzaro et al., 2011; Barreca et al., 2011).

La maggior parte delle strutture tettoniche del TFS sono state poi identificate come faglie attive e capaci dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) e inserite nel database ITHACA⁶³ (*Italy Hazard from Capable faults*). Un altro sistema di faglie, il *South Fault System* (SFS in Figura 7.4b, v. Barreca et al., 2013) accoglie la deformazione al limite meridionale del settore di scorrimento verso S-E dell'Etna. Il sistema è composto da quattro rami di faglia non sismogenica (v. Barreca et al., 2013 e Figura 3b).

Sebbene la tettonica locale possa contribuire alla pericolosità sismica della regione indagata, un importante ruolo sismotettonico è attribuito alla presenza di strutture tettoniche a scala regionale e in particolare alla riattivazione tardo quaternaria della scarpata di Malta (Gambino et al., 2021).

La scarpata di Malta (Figura 7.4b), è un lineamento tettonico con andamento NNO-SSE situato nel vicino mare della Sicilia orientale. L'esplorazione sismica in ambito marino (Gutscher et al., 2016; Gambino et al., 2021) ha evidenziato la recente attività del settore settentrionale della scarpata di Malta, che si manifesta principalmente al largo di Catania (a nord) e Siracusa (a sud) con spostamenti del fondale lungo tre segmenti di faglia. Tra questi, il segmento di faglia più lungo (~60 km) e più continuo potrebbe essere in grado di generare terremoti $M > 7$.

Secondo i cataloghi storici disponibili (CPTI15, v. Rovida et al. 2016) la Sicilia orientale è una delle regioni sismicamente più pericolose d'Italia poiché ha subito grandi terremoti nei secoli passati, come gli eventi del 4 febbraio 1169

⁶³ <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer>

e 11 gennaio 1693. Quest'ultimo evento sismico è comunemente segnalato come il terremoto più forte della penisola italiana ($I_0=X/XI$ MCS e M_w 7.4). Tenendo conto di quanto sopra descritto e delle caratteristiche di particolare pericolosità dell'area di indagine, non esistendo studi di microzonazione sismica che consentano di tenere indagare gli effetti di sito, causati dalle stratificazioni geologiche di cui si è discusso in questo paragrafo, il database geologico sarà caratterizzato dai seguenti parametri:

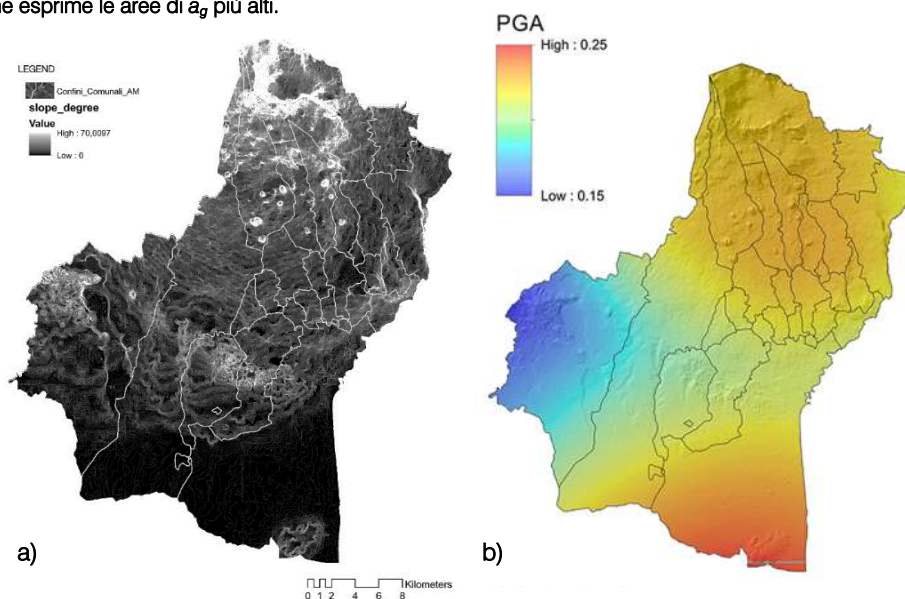
- in accordo con le Norme Tecniche delle Costruzioni (v. Cap.5, par. 5.4.3), il parametro a_s esprime le caratteristiche topografiche, ovvero la pendenza del terreno rispetto a un piano orizzontale, caratterizzato dalle seguenti relazioni (7.1) (Figura 7.5a):

$$a_s = \begin{cases} 1.0 & \text{for } 0^\circ \leq s \leq 15^\circ \\ 1.2 & \text{for } 15^\circ < s \leq 30^\circ \\ 1.4 & \text{for } s > 30^\circ \end{cases} \quad (7.1)$$

con s la pendenza locale del suolo rispetto a un piano orizzontale.

- in accordo con la MPS04 – Mappa di Pericolosità Sismica Italiana (2004), vengono adottati i valori standard di a_g e le relative incertezze per il settore indagato, al fine di derivare la distribuzione della PGA. I valori, rappresentati da punti dati georeferenziati (Figura 7.5b) ($0,05^\circ$ space-array) variano da un minimo di $0,15g$ ad un massimo di $0,25g$, sono stati trasformati in una funzione continua (*Grid*) utilizzando il metodo di interpolazione *Inverse Distance Weighted (IDW)*, operato nella piattaforma ArcGIS® (v. Cap. 5, par. 5.3.4, punto E).

Figura 7.5| (a) Mappa delle pendenze in funzione continua (*Grid*) in scala di colore da nero, che esprime la pendenza minore, a bianco che esprime la pendenza maggiore. (b) Mappa della distribuzione della PGA in funzione continua (*Grid*) nella scala di colore da blu, che esprime le aree di a_g più bassi a rosso, che esprime le aree di a_g più alti.

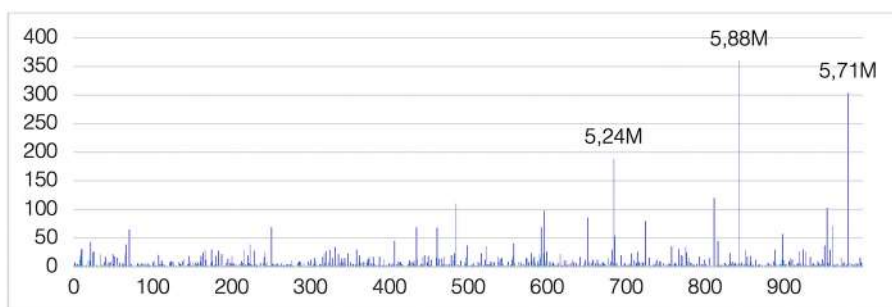


- nel grafo (Figura 7.2) vengono riprodotti i ‘nodi di faglia’, che rappresentano le faglie attive, con maggiore probabilità di attivazione durante la simulazione.

Calibrazione del modello

La calibrazione del modello proposto (v. Cap.5, par. 5.3.4) per la simulazione dei terremoti è ottenuta attraverso il confronto tra il danno prodotto da uno scenario sismico simulato e i dati reali osservati. Dal momento che l'AMC ha una sismicità simile al territorio de L'Aquila, in accordo con la Mappa di Pericolosità Sismica Italiana (MPS-04), sono stati scelti i dati di danneggiamento relativi alla sequenza sismica che ha colpito L'Aquila nell'Aprile del 2009. È stata dunque riprodotta nel modello una sequenza sismica come quella che ha colpito la città, come riportato in Figura 7.6. Questa sequenza mostra 1000 eventi sismici in 10 giorni con tre principali terremoti di magnitudo superiore a 5 M.

Figura 7.6| Scenario sismico simulato simile a quello verificatosi a L'Aquila nel 2009.



Il confronto tra i danni prodotti dallo scenario sismico simulato e quelli realmente osservati a L'Aquila ha portato a calibrare il valore di un appropriato parametro di controllo, f_B (*fraction buildings*) che rappresenta la frazione di edifici scelti in maniera casuale intorno ad ogni nodo della rete (v. Cap.5, par. 5.3.4).

La Tabella 7.6 riporta le percentuali di edifici ‘gravemente danneggiati’ e ‘distrutti’ per lo scenario sismico de L'Aquila confrontati con i dati di danneggiamento ottenuti per il Comune di Catania, calcolati avviando differenti simulazioni sismiche in corrispondenza di valori crescenti del parametro f_B (che vanno da 0,35 a 0,44). Come si può facilmente osservare, il danno cresce con f_B e la percentuale più simile di edifici ‘gravemente danneggiati’ (13,09%) e ‘distrutti’ (29,78%) è osservata per valori di $f_B = 0,37$.

Tabella 7.6| Confronto degli effetti del danneggiamento dello scenario sismico reale de L'Aquila (2009) e uno scenario simulato, ristretto alla solo Comune di Catania, al fine di rendere il confronto più affidabile, per valori crescenti del paramento di controllo f_B .

L'Aquila 2009	Heavily Damaged Buildings	Destroyed Buildings	Heavily Damaged + Destroyed Buildings
<i>Real Data</i>	17.40%	24.30%	41.70%

Catania Municipality (simulation)	Heavily Damaged Buildings	Destroyed Buildings	Heavily Damaged + Destroyed Buildings
$f_B = 0.35$	13.45%	34.63%	48.08%
$f_B = 0.36$	13.93%	36.03%	49.96%
$f_B = 0.37$	13.09%	29.78%	42.87%
$f_B = 0.38$	13.53%	38.19%	51.72%
$f_B = 0.39$	13.11%	39.22%	52.33%
$f_B = 0.40$	13.64%	39.07%	52.71%
$f_B = 0.41$	13.43%	39.86%	53.29%
$f_B = 0.42$	15.73%	58.70%	74.73%
$f_B = 0.43$	15.71%	60.12%	75.83%
$f_B = 0.44$	15.89%	61.56%	77.45%

7.4 Risultati delle simulazioni

Gli scenari presentati in questa sezione sono stati scelti a posteriori fra diverse simulazioni eseguite variando casualmente la distribuzione della forza sismica iniziale sui nodi della griglia. In particolare sono state scelte tre diverse sequenze sismiche, rispettivamente a bassa, media e alta intensità, in modo tale da valutare l'andamento del danno dovuto all'attività sismica sugli edifici in base alle caratteristiche degli edifici stessi e alle proprietà geologiche dell'area considerata. Vengono riprodotti due differenti set di simulazioni sismiche: tre sequenze sismiche multiple di differenti intensità:

- *Multiple earthquake scenario - Low intensity (MES-LI);*
- *Multiple earthquake scenario - Medium intensity (MES-MI);*
- *Multiple earthquake scenario - High intensity (MES-HI);*

e tre eventi sismici singoli di magnitudo crescente:

- *Single earthquake scenario M1 (SES-M₁);*
- *Single earthquake scenario M2 (SES-M₂);*
- *Single earthquake scenario M3 (SES-M₃).*

La scelta dei sei scenari mira a confrontare i danni sugli edifici derivanti da sequenze multiple di terremoti (*foreshock* e *aftershock*), come si sono verificate anche a L'Aquila nel 2009 e terremoti singoli di intensità massima equivalente.

7.4.1. Multiple Earthquakes Scenarios (MES)

Gli scenari sismici multipli consentono di indagare gli effetti in termini di danno accumulato sugli edifici dell'area investigata (v. Cap.5, par. 5.4.3, punto E).

In particolare le sequenze sismiche hanno durata di 10 giorni nello stato critico e dopo una fase transiente di 600 eventi, manifestano 100 terremoti al giorno. Lo scenario sismico di bassa intensità non presenta eventi di magnitudo superiore a 5 M; lo scenario sismico di media intensità mostra un evento di magnitudo superiore a 5 M; lo scenario sismico di elevata intensità include due eventi di magnitudo superiore a 5 M.

La Figura 7.7 considera lo scenario sismico di bassa intensità (*MES-LI*). Il grafico in Figura 7.7a riporta l'aumento del danno totale causato nell'area urbana dalla sequenza sismica scelta di 1000 eventi sismici, la cui dimensione è mostrata nel grafico in Figura 7.7b. La sequenza è caratterizzata da 25 terremoti di magnitudo compresa tra 3 e 4, 7 terremoti di magnitudo compresa tra 4 e 5, e nessun terremoto di magnitudo superiore a 5. Il numero totale di eventi (*N.ev*) accumulati nei giorni 1, 4,7 e 10 è mostrato in Tabella 7.7 per tre differenti intervalli di magnitudo. Nella stessa Tabella, sono riportate le percentuali corrispondenti di edifici 'leggermente danneggiati' (SDB), 'gravemente danneggiati' (HDB) e 'distrutti' (DB), connessi ai corrispondenti intervalli di tempo.

Gli effetti di questa sequenza sismica di bassa intensità evidenziano che la maggior parte degli edifici risulta non danneggiata alla fine del decimo giorno, circa il 17% di questi risulta essere 'leggermente danneggiati' e poco più del 13% è la percentuale di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti'. In questo scenario l'incremento maggiore di danno accumulato si osserva al decimo giorno, quando il numero complessivo di edifici 'leggermente danneggiati', 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' passa da meno del 9% a più del 30%, dopo un solo terremoto di magnitudo 4,78 M.

Nella Figura 7.8 è riportata la mappa dei danni per lo scenario sismico di bassa intensità (*MES-LI*). La scala di colori è suddivisa in sette *ranges* di intensità crescente e l'intensità di colore è proporzionale alla percentuale registrata di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' per ogni comune dell'area metropolitana alla fine della simulazione nel territorio corrispondente. Accanto all'etichetta di ogni comune è riportato il valore di questa percentuale.

Figura 7.7| *MES-LI*. Scenario di bassa intensità sismica. a) Numero di edifici danneggiati e distrutti come funzione dei 1000 eventi sismici. b) Sequenza sismica.

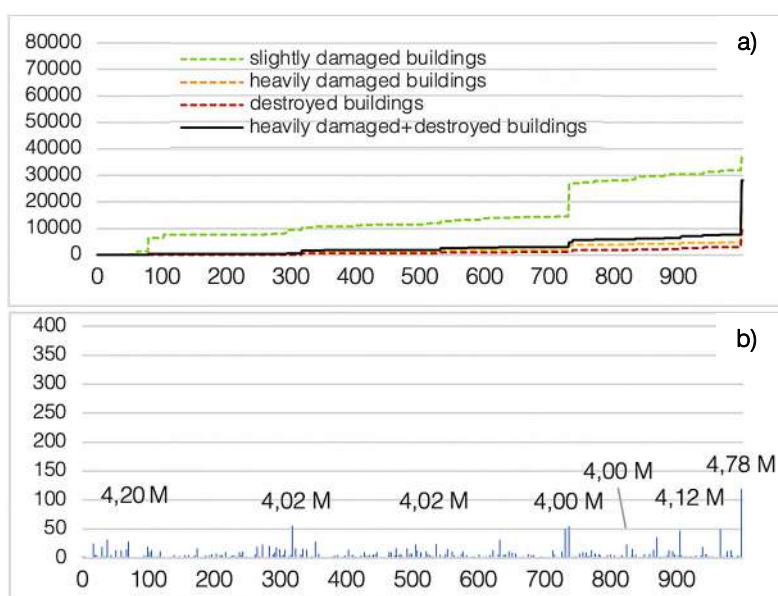
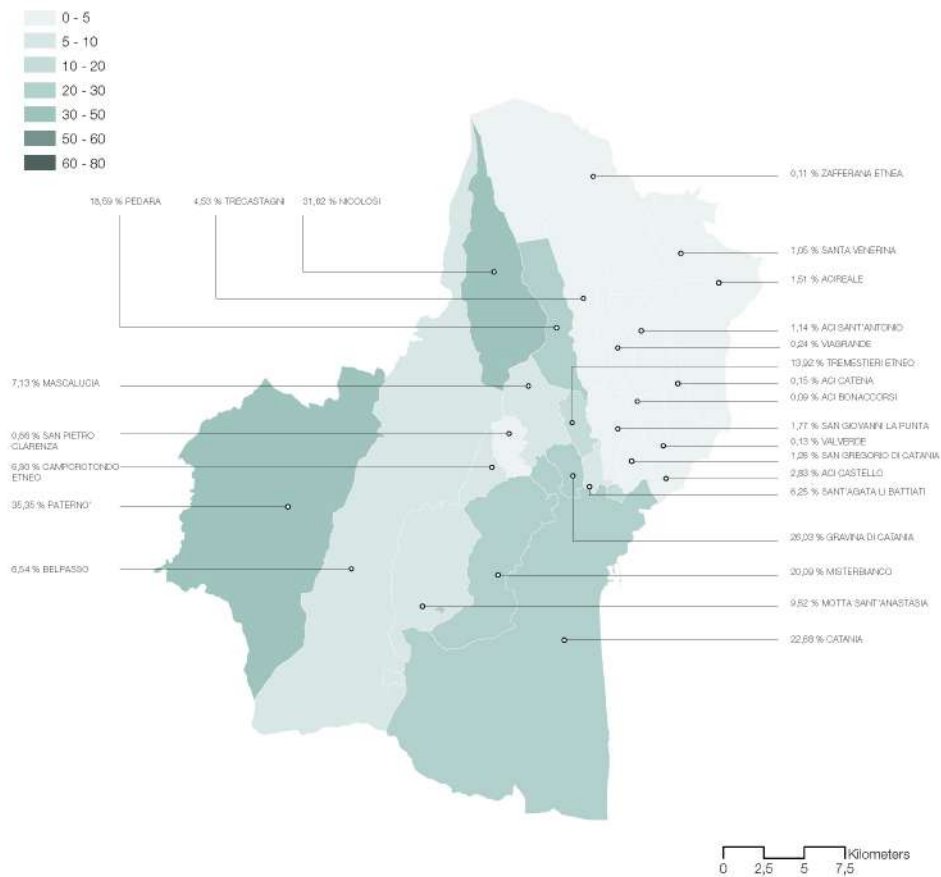


Tabella 7.7| *MES-LI*. Scenario sismico di bassa intensità: numero di eventi sismici di differente magnitudo e percentuali di edifici 'leggermente danneggiati' (SD), 'pesantemente danneggiati' (HDB) e 'distrutti' (DB) accumulati in quattro differenti giorni durante il periodo di tempo considerato.

	DAY 1	DAY 4	DAY 7	DAY 10
N. ev. with $3 < M < 4$	4	9	16	25
N. ev. with $4 < M < 5$	1	2	3	7
N. ev. with $5 < M < 6$	0	0	0	0
%SDB	3.07	5.21	6.96	17.69
%HDB	0.2	0.58	0.91	9.09
%DB	0	0.28	0.51	4.49

Figura 7.8| *MES-LI*. Mappa dei danni per lo scenario di bassa intensità sismica, in assenza di terremoti di magnitudo compresa tra 5 e 6. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta.



Lo stesso studio è stato ripetuto per lo scenario sismico di media intensità, caratterizzato da 46 terremoti di magnitudo compresa tra 3 e 4, 10 terremoti di magnitudo compresa tra 4 e 5 e un terremoto di magnitudo superiore a 5. I risultati sono riportati in Figura 7.9.

La percentuale di edifici 'leggermente danneggiati' cresce quasi linearmente a partire dal primo giorno, andando dal 5% a causa di un terremoto di magnitudo 4,08, al 18% dell'ultimo giorno in corrispondenza di un terremoto di magnitudo 5,60. La più alta percentuale di crescita di edifici 'gravemente

danneggiati' (HDB) e 'distrutti' (DB) si verifica al decimo giorno, variando da 4,50% a più del 22%, in corrispondenza di un terremoto di magnitudo 5,60. Come ci si può aspettare, la percentuale di edifici distrutti (DB) riportata in Tabella 7.8 è sensibilmente maggiore di quella corrispondente dello scenario di bassa intensità.

Figura 7.9| *MES-MI*. Scenario sismico di media intensità. a) Numero di edifici danneggiati e distrutti come funzione dei 1000 eventi sismici. b) Sequenza sismica.

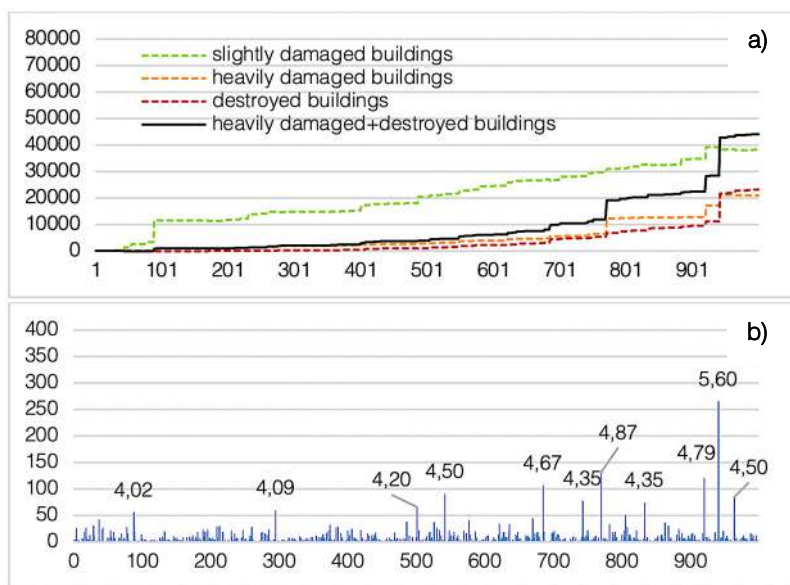
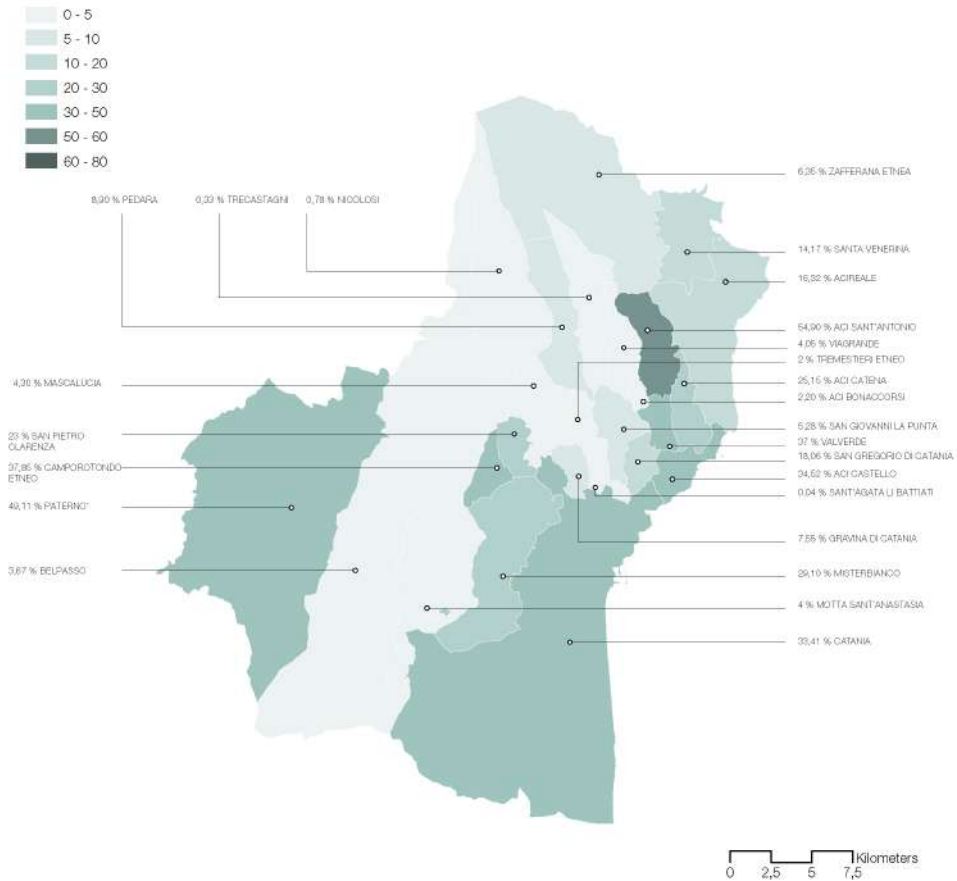


Tabella 7.8| *MES-MI*. Scenario sismico di media intensità: numero di eventi sismici di differente magnitudo e percentuali di edifici 'leggermente danneggiati' (SD), 'pesantemente danneggiati' (HDB) e 'distrutti' (DB) accumulati in quattro differenti giorni durante il periodo di tempo considerato.

	DAY 1	DAY 4	DAY 7	DAY 10
N. ev. with $3 < M < 4$	8	20	35	46
N. ev. with $4 < M < 5$	1	2	5	10
N. ev. with $5 < M < 6$	0	0	0	1
%SDB	5.58	7.42	13	18.46
%HDB	0.44	1.00	2.68	10.15
%DB	0.18	0.18	2.16	11.18

Per questo scenario, emerge che la quantità di edifici coinvolti (SDB, HDB, DB) è cresciuta del 20% rispetto allo scenario precedente. Va notato che una moderata crescita degli edifici 'leggermente danneggiati' corrisponde ad una crescita triplicata della percentuale di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti'. Come per il precedente scenario, in Figura 7.10 è riportata la mappatura dei danni per lo scenario sismico di media intensità. La scala di colore, ancora una volta è divisa in sette *ranges* di intensità crescente e l'intensità di colore è proporzionale alla percentuale di edifici 'gravemente danneggiati' (HDB) e 'distrutti' (DB) registrati alla fine della simulazione in ogni comune.

Figura 7.10| *MES-MI*. Mappa dei danni per lo scenario di media intensità sismica, con un terremoto di magnitudo compresa tra 5 e 6. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta.



In ultimo, lo scenario sismico di elevate intensità con diversi terremoti di M 4 e M 5, un evento sismico di M 5,25 al settimo giorno, un secondo terremoto di magnitudo 5,88 all'ottavo giorno e un evento sismico di M 5,71 al decimo giorno. La sequenza sismica è la stessa adottata per la calibrazione del modello (qui applicata all'intera area metropolitana) ed è riportata nel grafico in Figura 7.11b, mentre la Figura 7.11a mostra l'evoluzione dei danni accumulati in termini di edifici 'leggermente danneggiati' (SDB), 'gravemente danneggiati' (HDB) e 'distrutti' (DB), anche in questo caso espressa in percentuale.

Figura 7.11 | *MES-HI*. Scenario sismico di alta intensità. a) Numero di edifici danneggiati e distrutti come funzione dei 1000 eventi sismici. b) Sequenza sismica.

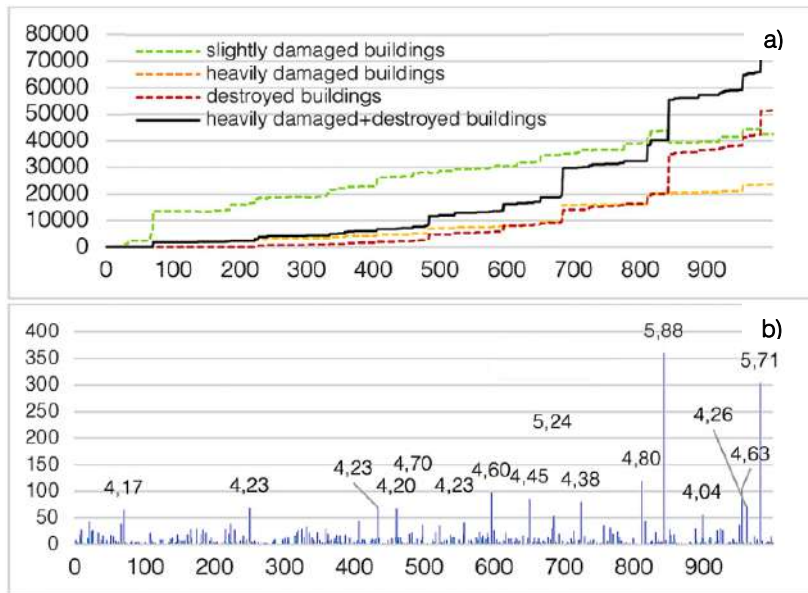
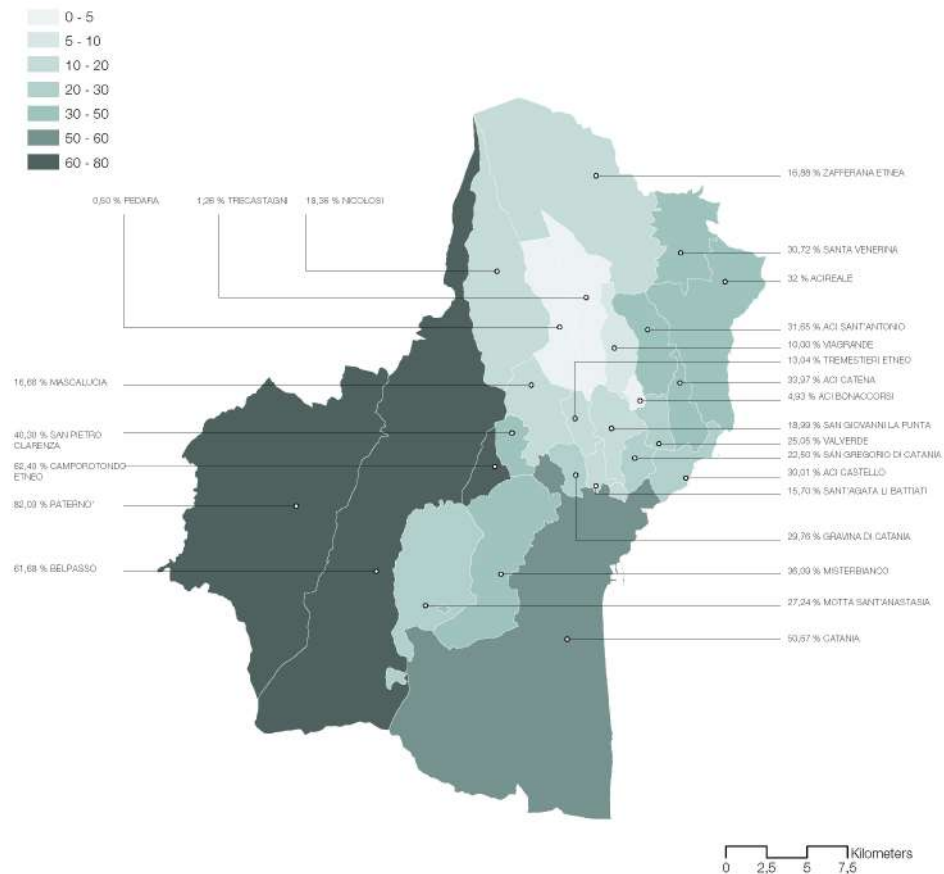


Tabella 7.9 | *MES-HI*. Scenario sismico di alta intensità: numero di eventi sismici di differente magnitudo e percentuali di edifici 'leggermente danneggiati' (SD), 'pesantemente danneggiati' (HDB) e 'distrutti' (DB) accumulati in quattro differenti giorni durante il periodo di tempo considerato.

	DAY 1	DAY 4	DAY 7	DAY 10
N. ev. with $3 < M < 4$	9	26	39	54
N. ev. with $4 < M < 5$	1	2	8	13
N. ev. with $5 < M < 6$	0	0	1	3
%SDB	6.52	11.03	17.07	20.51
%HDB	0.92	2.04	7.64	11.37
%DB	0	0.87	6.76	24.86

A differenza di quanto osservato nelle sequenze sismiche precedenti, in questo caso il numero di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' è significativo. La Figura 7.11a mostra chiaramente che, alla fine dell'intervallo di tempo considerato, circa il 37% degli edifici risulta 'gravemente danneggiato' e 'distrutto'. Il primo incremento nella percentuale di edifici gravemente danneggiati si osserva in corrispondenza del terremoto di M 5,24, tra il sesto e il settimo giorno, in cui la percentuale triplica. Invece, il principale incremento della percentuale di edifici distrutti si osserva in corrispondenza del terremoto di M 5,88, tra l'ottavo e il nono giorno, in cui la percentuale cresce di quattro volte. La percentuale di edifici distrutti riportata in Tabella 7.9 conferma quanto ci si potrebbe aspettare, mostrando un ulteriore incremento rispetto allo scenario di media intensità.

Figure 7.12| *MES-HI*. Mappa dei danni per lo scenario di media intensità sismica, con un terremoto di magnitudo compresa tra 5 e 6. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta.



Come nei precedenti scenari, la mappa del danno dell'area metropolitana, riportata in Figura 7.12, mostra colori più intensi in relazione alla percentuale di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti'.

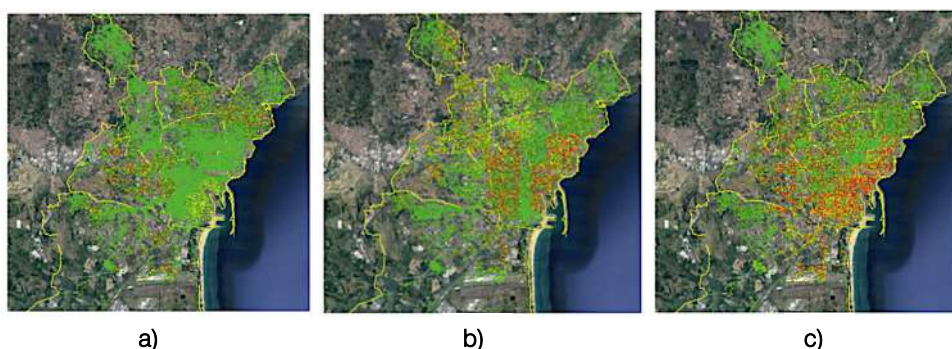
Il confronto dei risultati ottenuti per le tre sequenze sismiche multiple evidenzia che per tutti i *ranges* considerati, la crescita dell'intensità dello scenario sismico produce un incremento del numero degli edifici distrutti. È importante evidenziare che il numero degli edifici 'leggermente danneggiati' (SDB) in funzione del tempo sembra decrescere (come nel caso dello scenario *MES-MI* e *MES-HI*), solitamente in corrispondenza di alcuni importanti eventi sismici: questo significa che quegli edifici hanno cambiato il loro status, passando da 'leggermente danneggiati' a 'gravemente danneggiati' o 'distrutti'. Inoltre il sistema è molto sensibile alla sua storia sismica passata; questo significa che eventi sismici simili possono produrre danni differenti in quanto si verificano in momenti differenti.

Accanto alla valutazione della percentuale di edifici gravemente danneggiati e distrutti di ogni comune, le simulazioni consentono di identificare in dettaglio l'ubicazione delle aree maggiormente danneggiate all'interno di

ogni comune. La Figura 7.13 mostra per esempio gli effetti delle tre sequenze sismiche considerate sugli edifici della città di Catania.

Dall'osservazione dell'immagine emerge chiaramente la diffusione degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' (evidenziati rispettivamente in giallo e in rosso) quando l'intensità della sequenza sismica cresce. La maggiore concentrazione di punti rossi è collocata all'interno del tessuto storico della città, intorno al porto.

Figura 7.13 | Ubicazione degli edifici 'leggermente danneggiati' (in verde), 'gravemente danneggiati' (in giallo) e 'distrutti' (in rosso) nella città di Catania. (a) scenario sismico di bassa intensità; (b) scenario sismico di media intensità; (c) scenario sismico di elevata intensità.



7.4.2. Single Earthquakes Scenarios (SES)

Viene adesso considerato un set di tre scenari, ad evento sismico singolo di magnitudo crescente, che produce danni sugli edifici confrontabili con quelli delle tre sequenze sismiche discusse in precedenza. Al fine di ottenere risultati significativi dal punto di vista statistico, ogni simulazione della magnitudo selezionata viene ripetuta 100 volte partendo da differenti condizioni iniziali di stress sismico sui nodi, e viene successivamente mediato il danno osservato sulle 100 ripetizioni.

Tra tutte le simulazioni, sono stati selezionati tre valori crescenti di magnitudo, ognuno capace di produrre un livello medio di danno confrontabile con quello prodotto da ognuna delle tre sequenze sismiche proposte in precedenza.

Come si può osservare in Tabella 7.10, la percentuale media di danno, espressa come somma di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' è uguale a 13,45% per un singolo terremoto di magnitudo 5,63, confrontabile con la percentuale ottenuta alla fine della sequenza sismica di bassa intensità (13,58%). D'altronde, un singolo terremoto di magnitudo 6,00 produce un danno medio di 21,04%, confrontabile con il 21,33% registrato dalla sequenza sismica di media intensità. In ultimo, il 34,80% del danno medio prodotto da un singolo terremoto di magnitudo 6,50 è confrontabile con il 36,23% dello scenario di elevata intensità.

Queste corrispondenze confermano che l'accumulo del danno sugli edifici derivante da eventi sismici ripetuti di moderata intensità può essere considerato al pari di un singolo evento sismico più forte.

Tabella 7.10 | Confronto tra le percentuali di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti', mediate su tre set di 100 eventi sismici singoli di magnitudo crescente e i tre scenari sismici multipli.

Single earthquake scenarios (averages over 100 runs)	%HDB	%DB	%HDB+DB
M 5.63	9.20	7.05	16.25
M 6.00	10.10	12.12	22.22
M 6.50	10.30	25.29	35.60
Multiple earthquakes scenarios	%HDB	%DB	%HDB+DB
Low intensity sequence	9.09	4.49	13.58
Medium intensity sequence	10.15	11.18	21.33
High intensity sequence	11.37	24.86	36.23

Le Figure 7.14, 7.15 e 7.16 mostrano le mappe dell'area metropolitana per i tre scenari sismici a terremoto singolo di magnitudo crescente. I vari comuni rappresentati sono caratterizzati, come negli scenari precedenti, da colori organizzati in sette *ranges* di intensità crescente e assegnati proporzionalmente alla percentuale di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' registrati alla fine della simulazione in ogni comune.

Dettagli maggiori di queste mappe possono essere meglio apprezzate se discussi in confronto agli scenari analoghi riportati nelle mappe dei tre scenari sismici multipli. Questo confronto è sviluppato nella Tabella 7.11, mentre nella Figura 7.17 sono riportati ulteriori dettagli riguardanti i danni osservati in ogni comune per tutti i sei scenari considerati.

Lo scenario multiplo di bassa intensità sismica (*MES-LI*, con sette eventi di magnitudo compresa tra 4 M e 5 M, e nessun terremoto che superi la magnitudo di 5 M) mostra un'alta percentuale di comuni, corrispondente al 52% (13 comuni sui 25 considerati), nel primo *range* di intensità, e una percentuale di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' per ogni comune inferiore al 5%.

Il singolo evento sismico di $M = 5,63$ (*SES-M₁*) ha la maggiore percentuale di comuni, il 56% (pari a 14 comuni) nel terzo *range* di intensità, tra il 10% e il 20%.

Lo scenario di media intensità sismica (*MES-MI*, caratterizzato da pochi eventi sismici compresi tra 4 M e 5 M e solo un evento di 5 M) mostra la maggior percentuale di comuni nel primo e nel quinto *range* di intensità. L'evento sismico singolo di magnitudo 6,00 (*SES-M₂*), simile allo scenario di media intensità per percentuale complessiva di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti', è caratterizzato da un numero più alto di comuni nel terzo e quarto intervallo di intensità.

In ultimo, lo scenario sismico ad elevata intensità (*MES-HI*) è caratterizzato da un numero maggiore di comuni nel terzo e quinto intervallo. Questo è il solo scenario tra quelli analizzati che raggiunge il settimo intervallo, caratterizzato dal 60%-80% di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' per il 12% dei comuni dell'AMC; l'evento sismico singolo di magnitudo 6,50 (*SES-M₃*) mostra la percentuale maggiore di comuni nel quinto intervallo, senza raggiungere gli ultimi due intervalli della scala.

Questi risultati consentono di concludere che il set dei tre scenari sismici multipli analizzati con la metodologia adottata copre un più ampio spettro nel rapporto percentuale di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' se confrontati con quelli evidenziati nel set dei tre eventi sismici singoli.

Tabella 7.11 | Numero di comuni dell'AMC che presenta una percentuale di edifici 'gravemente danneggiati' (HDB) e 'distrutti' (DB) inclusi nei diversi ranges di intensità di danno.

Intensity ranges	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
HDB+DB (%)	0-5	5-10	10-20	20-30	30-50	50-60	60-80
Low intensity sequence	13	5	2	3	2	-	-
Single event M 5.63	-	1	14	1	-	-	-
Medium intensity sequence	9	4	3	3	5	1	-
Single event M 6.00	-	-	12	11	2	-	-
High intensity sequence	3	-	7	4	7	1	3
Single event M 6.50	-	-	2	3	20	-	-

Inoltre tre comuni del versante sud-orientale, Zafferana Etnea, Santa Venerina e Acireale mostrano la più alta percentuale di danno (in media superiore al 25%) in ognuno dei tre scenari ad evento singolo. Nelle parti più interne dell'AMC, i comuni maggiormente colpiti dal terremoto sono quelli di 'prima corona' (Gravina di Catania, Sant'Agata Li Battiati, San Giovanni La Punta, Tremestieri Etneo) con percentuali comprese tra il 21% e il 23%. Percentuali superiori ma simile danno sono riscontrate nel caso del terremoto di magnitudo 6,00 e di magnitudo 6,50. Anche in questi casi i comuni maggiormente colpiti dai terremoti sono quelli del versante sud-orientale dell'Etna (Zafferana Etnea, Santa Venerina, Acireale, Aci Sant'Antonio, Aci Catena) con percentuali medie rispettivamente che variano dal 26% al 32%, e dal 38% al 46% rispettivamente nel caso del terremoto di magnitudo 6,00 e 6,50, confermando l'elevata sismicità del versante sud-orientale dell'Etna.

Figura 7.14 | SES-M1. Mappa dei danni per un terremoto singolo di magnitudo 5,63. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta.

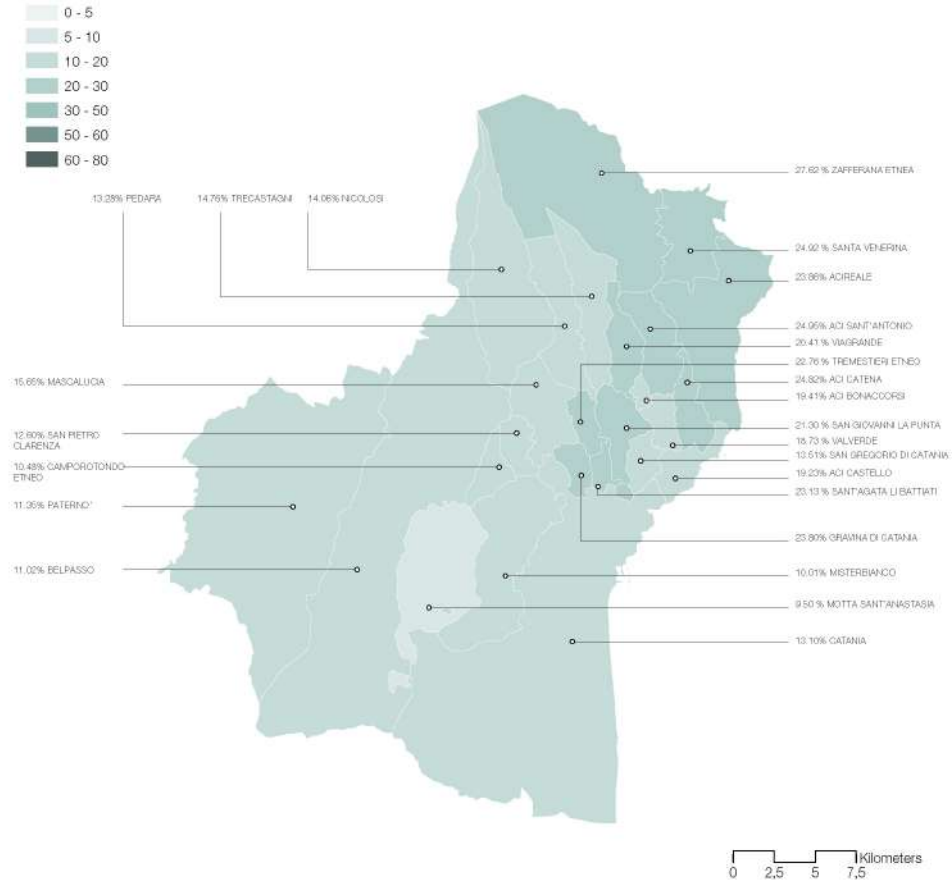


Figura 7.15 | SES-M2. Mappa dei danni per un terremoto singolo di magnitudo 6,00. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta.

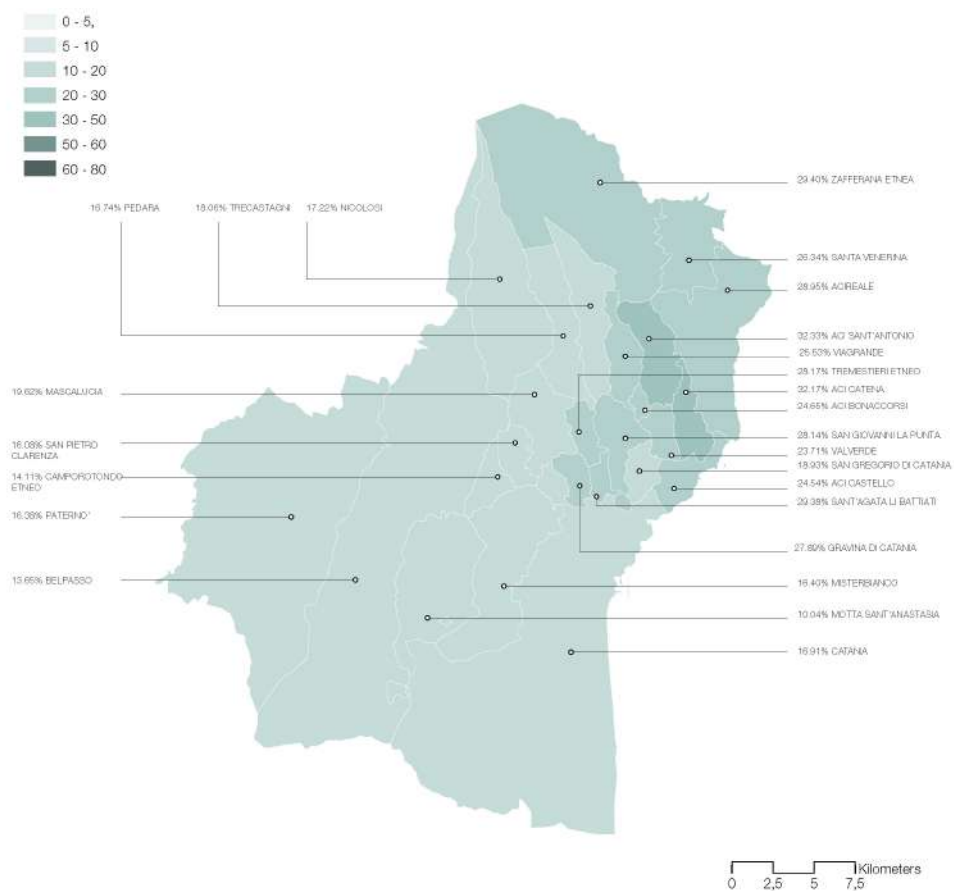


Figura 7.16| SES-M3. Mappa dei danni per un terremoto singolo di magnitudo 6,50. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta.

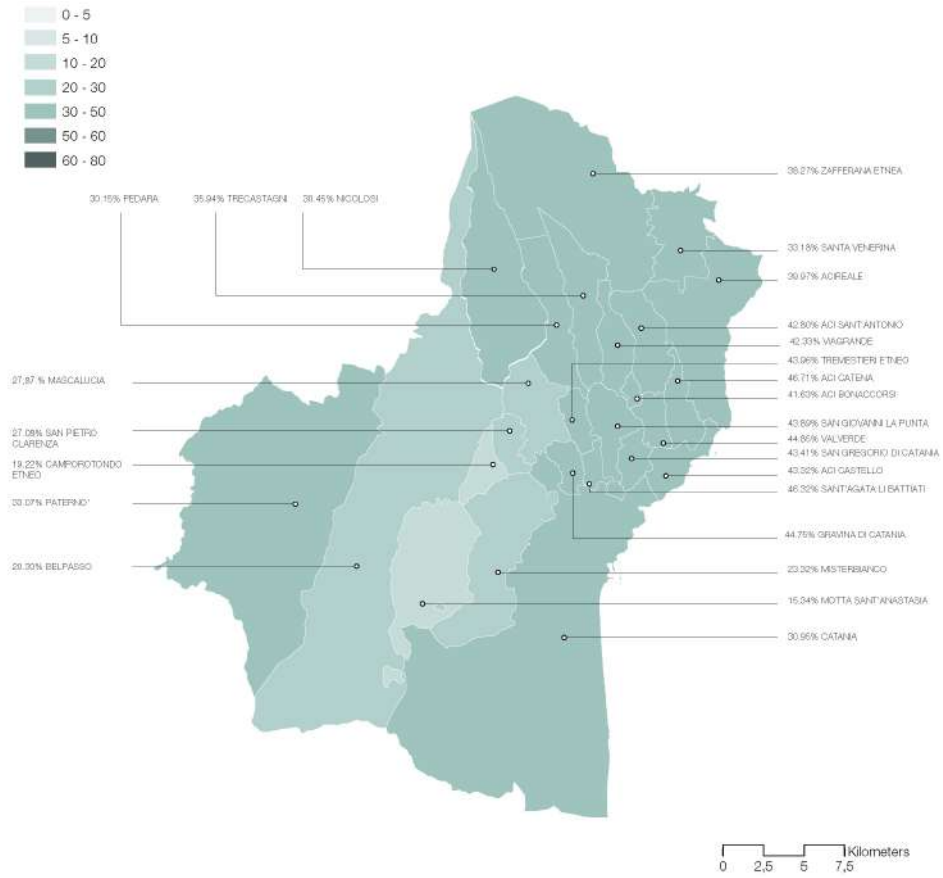
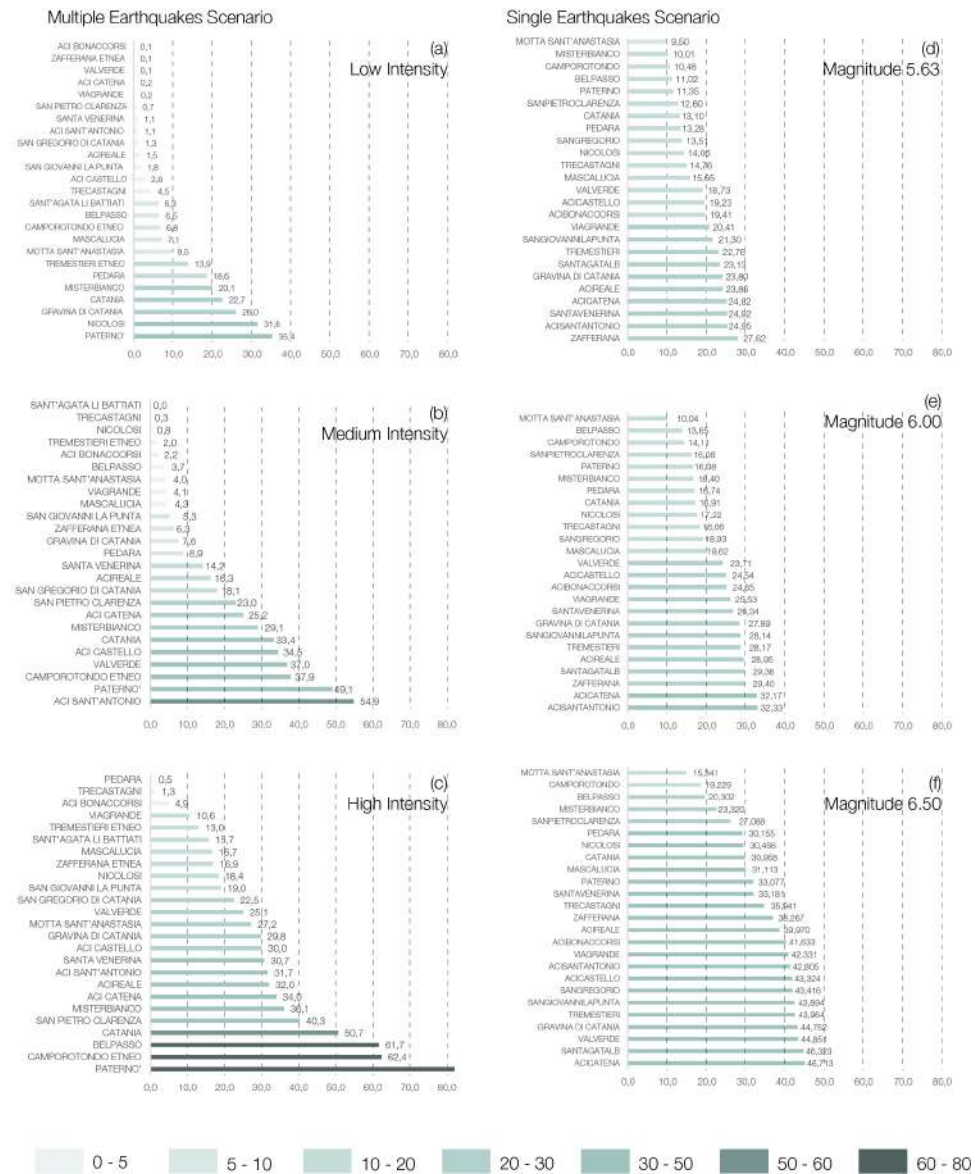


Figura 7.17 | Scenari sismici multipli: (a) Low Intensity; (b) Medium Intensity; (c) High Intensity. Scenari sismici singoli: (d) Magnitudo 5.63; (e) Magnitudo 6.00; (f) Magnitudo 6.50. Per ognuno dei sei scenari sono riportati i dettagli delle percentuali di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' per tutti i comuni dell'Area Metropolitana di Catania.



7.5 Calcolo di un indice di rischio 'a-priori' (Modello Crichton).

È stato considerato l'impatto degli eventi sismici (sequenze multiple o terremoti singoli) in termini di percentuali di edifici danneggiati/distrutti nei 25 comuni dell'Area Metropolitana di Catania. Tuttavia, essendo il numero di edifici in ogni comune molto diverso, per quantificare l'impatto reale e il danno totale dovuto agli eventi sismici, sarebbe opportuno calcolare il numero reale di edifici danneggiati/distrutti.

A questo proposito viene introdotto un indice di rischio definito *a-priori*.

Secondo la teoria generale della valutazione del rischio (v. Cap.1, par. 1.2) che si basa sul Triangolo del Rischio di Crichton (CRT) (Crichton, 1999; Kron, 2002) il rischio è calcolato in funzione di tre componenti principali:

Pericolosità, Esposizione e Vulnerabilità. La pericolosità esprime il potenziale per un evento di produrre danni (ad esempio terremoti, epidemie, inondazioni); l'esposizione valuta la quantità di beni esposti al pericolo (per esempio edifici, popolazione, infrastrutture); la vulnerabilità rappresenta l'attitudine di quei beni ad essere danneggiati quando esposti ad eventi pericolosi (per esempio le caratteristiche strutturali e morfologiche degli edifici, l'età della popolazione, i sistemi di drenaggio).

In questo caso viene considerata la pericolosità (H) come proporzionale all'impatto di un generico forte terremoto sugli edifici e influenzata da fattori legati alle caratteristiche geologiche del territorio comunale, in particolare l'accelerazione media del suolo, la pendenza media e la presenza di faglie. L'esposizione (E) sarà proporzionale al numero di risorse che potrebbero essere danneggiate o distrutte dal terremoto, ovvero il numero di edifici presenti in quel comune. Infine, la Vulnerabilità (V) sarà proporzionale alla vulnerabilità (moda) iniziale più espressa degli edifici presenti nel comune. Più in dettaglio, definiamo, per il k -esimo comune ($k = 1, \dots, 25$):

$$H_k = \frac{1}{3} \frac{\langle a_g \rangle_k}{\max[\langle a_g \rangle_k]} + \frac{1}{3} \frac{\langle a_s \rangle_k}{\max[\langle a_s \rangle_k]} + \frac{1}{3} \frac{(N_f)_k}{\max[(N_f)_k]} \quad (7.2)$$

$$E_k = \frac{(N_b)_k}{\max[(N_b)_k]} \quad (7.3)$$

$$V_k = \frac{\text{Mode}(V_0)_k}{\max[\text{Mode}(V_0)_k]} \quad (7.4)$$

Dove:

$\langle a_g \rangle_k$ è l'accelerazione al suolo a_g mediata sul sito del k -esimo comune;

$\langle a_s \rangle_k$ è la pendenza mediata sul sito del k -esimo comune;

$(N_f)_k$ è il numero di 'nodi di faglia' della rete OFC compresi nel k -esimo comune;

$(N_b)_k$ è il numero di edifici presenti nel k -esimo comune;

$\text{Mode}(V_0)_k$ è la moda della vulnerabilità iniziale degli edifici presenti nel k -esimo comune.

Tutte le grandezze considerate nelle equazioni (7.2), (7.3) e (7.4) sono state normalizzate ai loro valori massimi nei 25 comuni.

Infine, l'indice di rischio R_k che caratterizza il k -esimo comune si ottiene facilmente come prodotto delle tre componenti del triangolo di rischio (modello moltiplicativo):

$$R_k = H_k \cdot E_k \cdot V_k \quad (7.5)$$

e viene normalizzato nell'intervallo $[0, 1]$.

Poiché questo indice è stato costruito sulla base di dati geologici e del patrimonio edilizio non legati ad uno specifico terremoto, si può definire

indice di rischio *a-priori*, in quanto può essere considerato come una sorta di previsione del livello di rischio *a-priori* di una determinata area geografica.

Nella Tabella 7.12 è riportata la graduatoria dei 25 comuni presenti nell'AMC (colonna di sinistra) secondo valori decrescenti dell'indice di rischio *a-priori* R_k normalizzato (colonna centrale).

Osservando la graduatoria, si possono facilmente individuare quattro classi di comuni caratterizzati da un diverso livello di rischio aggregato: Catania e Acireale sono in prima classe, con un livello di rischio 'altissimo', $R_k > 0.5$; subito sotto, quattro comuni, Misterbianco, Paternò, Belpasso e Mascalucia, sono etichettati con un livello di rischio 'alto', $0.2 < R_k < 0.5$; quindi un gruppo di 10 comuni con $0.1 < R_k < 0.2$ viene classificato con un livello di rischio 'medio'; infine, un gruppo degli ultimi 9 comuni è classificato con un livello di rischio 'basso', per $R_k < 0.1$.

Naturalmente, queste previsioni sul livello di rischio aggregato *a-priori* dei comuni considerati devono essere confrontate con i danni *a-posteriori* osservati negli stessi comuni, come risultato delle simulazioni numeriche. A tal proposito si è deciso di tenere conto dei risultati provenienti dai singoli scenari sismici, che – grazie alla media di oltre 100 ripetizioni – hanno una maggiore significatività statistica.

Tabella 7.12 | Classificazione del rischio dei 25 Comuni dell'Area Metropolitana di Catania confrontati con i valori medi dei danni delle simulazioni numeriche come risultato dei tre principali eventi sismici singoli di magnitudo M 5.63, M 6.00 and M 6.50 (ognuno ripetuto 100 volte per ottenerne una rilevanza statistica). I quattro gruppo di rischio identificati dai valori dell'indice di rischio sono in ottima coerenza con i danni osservati (soltanto tre comuni sono stati sottostimati, in quanto classificati nel gruppo di rischio immediatamente inferiore, nella tabella in rosso).

	MUNICIPALITY	RISK INDEX	AV.DAMAGE OVER 3 SEISMIC EVENTS	
VERY HIGH RISK	CATANIA	1,00	10401	
	ACIREALE	0,74	5870	
HIGH RISK	MISTERBIANCO	0,30	2291	
	PATERNO'	0,28	2736	
	BELPASSO	0,25	1801	
	MASCALUCIA	0,23	2728	
MEDIUM RISK	PEDARA	0,17	1588	
	TRECASTAGNI	0,16	1309	
	NICOLOSI	0,15	1130	
	SAN GIOVANNI LP	0,15	2705	
	ACICATENA	0,15	1814	
	MOTTA S.ANASTASIA	0,14	695	
	ZAFFERANA	0,14	1377	
	ACI S.ANTONIO	0,14	2328	
	ACICASTELLO	0,13	1495	
	GRAVINA DI CATANIA	0,12	1630	
	LOW RISK	TREMESTIERI E.	0,09	1611
		SANTA VENERINA	0,08	937
VIAGRANDE		0,07	966	
VALVERDE		0,05	856	
SANT'AGATA LB		0,04	811	
ACI BONACCORSI		0,04	614	

	S.PIETRO	0,03	393
	CLARENZA		
	CAMPOROTONDO E.	0,02	170
	SAN GREGORIO	0,01	501

Nell'ultima colonna della Tabella 7.12 si riporta, per ogni comune, il numero di edifici gravemente danneggiati o distrutti, mediati nei tre scenari sismici singoli con, rispettivamente, magnitudo 5,63, 6,00 e 6,50 M. Questi valori rappresentano la risposta media di un dato numero di edifici, presenti su un dato comune ed esposti a pericolosità sismica, al verificarsi di un forte terremoto.

Come si vede, i quattro gruppi di rischio *a-priori* riescono a spiegare abbastanza bene il danno medio *a-posteriori*: infatti, solo tre comuni, San Giovanni La Punta, Aci Sant'Antonio e Tremestieri (testo in rosso nella Tabella 7.12), risultano essere sottostimati (di una sola classe) dalla previsione dell'indice di rischio. La classificazione del rischio rivela quali comuni si trovano a maggior rischio rispetto ai maggiori eventi sismici, in termini di numero medio di edifici 'gravemente danneggiati' o 'distrutti' rispetto a quanto discusso nel paragrafo precedente, dove è stata considerata solo la percentuale degli edifici danneggiati all'interno dei comuni. Ovviamente i comuni con un maggior numero di edifici hanno in generale una maggiore propensione alla possibilità di avere un impatto più grave e quindi un rischio maggiore.

7.6 Considerazioni

Lo studio condotto consente di analizzare il rischio sismico simulando i terremoti mediante un modello Olami-Feder-Christensen (OFC) modificato, nel contesto della Criticità Auto-organizzata.

Specificamente sono state considerate alcune caratteristiche geologiche nella valutazione delle intensità sismiche percepite da ogni singolo edificio. Come caso di studio è stato valutato un vasto territorio della costa orientale siciliana, l'Area Metropolitana di Catania, che comprende diverse zone densamente urbanizzate e esposte a rischio sismico di livello 2.

L'applicazione della procedura è stata sviluppata, in primo luogo, attraverso sequenze sismiche di intensità variabile, che sono piuttosto frequenti nei territori sismici. Il modello proposto consente di dimostrare che i danni possono accumularsi progressivamente negli edifici e portare al loro crollo anche quando l'intensità di ogni singolo evento è moderata. Questa considerazione è molto rilevante nella previsione di scenari sismici che si ripercuotono sugli insediamenti urbani, in quanto introduce l'effetto di accumulo di danno negli edifici e il relativo cambiamento di comportamento, a fronte di ripetute sequenze sismiche, come tipicamente si manifestano nelle aree di prossimità a faglie attive. La possibilità di modellare sequenze sismiche rappresenta una novità nell'ambito della ricerca sul rischio derivante

dal pericolo sismico nei sistemi urbani. Infatti gli scenari sismici, generalmente, non tengono conto dei cosiddetti *foreshock* e *aftershock*. Gli eventi sismici ripetuti hanno conseguenze molto rilevanti sugli edifici, in quanto sensibili alla storia sismica precedente. Eventi sismici ripetuti nel corso del tempo possono produrre effetti differenti in quanto si verificano in momenti differenti, e anche un terremoto di bassa magnitudo può comportare effetti ben più catastrofici di un evento sismico singolo di pari intensità percepita.

In secondo luogo, sono state studiate simulazioni statisticamente significative di singoli eventi sismici maggiori, equivalenti a una data sequenza in termini di danni prodotti sugli edifici.

Infine, è stato introdotto un nuovo indice di rischio *a-priori* in grado di caratterizzare il rischio sismico di ogni singolo comune nell'area metropolitana considerata. Le previsioni basate su questo indice risultano in ottimo accordo con i risultati delle simulazioni numeriche. In particolare, la valutazione del danno prodotto dai movimenti del suolo simulati sugli edifici dell'Area Metropolitana di Catania e il nuovo indice di rischio introdotto, consentono di caratterizzare in modo quantitativo le aree più vulnerabili e pianificare misure appropriate per la gestione del rischio.

Sviluppi futuri. L'utilizzo della modellazione ad agenti per la simulazione degli eventi sismici può essere ulteriormente approfondita attraverso l'adozione di database che introducano ulteriori elementi che caratterizzano il territorio, come il sistema delle infrastrutture e delle funzioni urbane (dei servizi e delle infrastrutture) che rivestono un ruolo strategico all'interno della struttura urbana caratterizzata dal sistema dei percorsi, sistema delle funzioni urbane, sistema degli spazi di relazione, sistema delle reti e delle attrezzature tecnologiche.

I decisori politici hanno sottovalutato la rilevanza di questo rischio, dando priorità allo sviluppo del settore delle costruzioni. Oggi la consapevolezza dell'attualità di questo tema è senz'altro più alta che in passato ma occorrono con urgenza azioni efficaci per mettere in atto solide politiche volte alla riduzione del rischio sismico.

Lo studio qui presentato fornisce alcuni spunti per impostare queste politiche, per guidare la definizione delle priorità nell'assegnazione dei fondi per la riqualificazione degli edifici più vulnerabili. In particolare, è evidente che i comuni che si trovano in posizioni più elevate nella classifica dell'indice di rischio proposto devono avere la priorità nell'allocazione dei fondi. L'adozione di tale strumento di decisione rappresenterebbe una novità per le politiche di rischio in Italia, dal momento che i sussidi pubblici sono attualmente assegnati tenendo conto solo della pericolosità e della vulnerabilità, senza esplicito riferimento all'esposizione.

Le simulazioni qui presentate mostrano che l'area esaminata è caratterizzata da un elevato rischio sismico, rappresentato dalle notevoli condizioni di danno subito dagli edifici. Tale condizione è stata aggravata dalla mancata

considerazione della pericolosità sismica nella pianificazione territoriale e dal conseguente rilascio delle autorizzazioni edilizie per tutti i Comuni dell'area esaminata. Ciò è avvenuto soprattutto durante la lunga stagione di sviluppo tumultuoso che ha avuto luogo tra gli anni Sessanta e la fine degli anni Ottanta.

Questo comporta la necessità di adottare tale strumento all'interno della fase di pianificazione territoriale per caratterizzare gli interventi strategici sul territorio sulla base del rischio.

7.7 L'indagine della vulnerabilità sociale dell'AMC

La ricerca propone un'indagine delle caratteristiche di vulnerabilità sociale della Città Metropolitana di Catania. La città presenta caratteristiche comuni a molte città del Mediterraneo, dal punto di vista geografico, dell'esposizione al pericolo sismico, delle dinamiche di sviluppo urbano e di stratificazione sociale (Leontidou, 1990). I numerosi stravolgimenti del paesaggio mediterraneo sono caratterizzati dalla continua interazione tra attività antropogeniche e processi ambientali e disastri naturali manifestatisi nel corso dei millenni.

La popolazione complessiva dell'Area Metropolitana di Catania dei venticinque comuni oggetto di studio si attesta sui 749367 abitanti (demoistat.it - 1° gennaio 2020), con un trend di de-crescita dello 0,3% rispetto al dato rilevato nel 2019 (751 535 abitanti).

In linea con il dato europeo ed italiano, anche la Sicilia registra indici di invecchiamento crescenti rispetto alle rilevazioni degli anni precedenti, ma con un valore al di sotto della media nazionale.

Con riferimento alle rilevazioni del 2019, l'Area Metropolitana di Catania, in particolare, è caratterizzata da un indice di vecchiaia pari al 137% a fronte di un valore di 153,8% registrato in Sicilia (1° gennaio 2019, demoistat). Tuttavia questo abbassamento rispetto alla media regionale è dovuto al riequilibrio demografico sostenuto da alcuni comuni dell'Area Metropolitana, quali Aci Sant'Antonio, Belpasso, Misterbianco, Motta Sant'Anastasia, San Pietro Clarenza, dove ancora si registrano coorti di popolazione di età compresa tra 0-14 anni superiore, anche se di poco, alla popolazione di età superiore ai 64 anni. Di contro si registrano comuni con indici di vecchiaia quasi vicini al 200%: ne sono un esempio Sant'Agata Li Battiti (199%), Aci Castello (173%), Gravina di Catania (164%), Acireale (159%), Catania (158,1%) (1° gennaio 2019, demoistat).

Gli indicatori presi in considerazione rappresentano la scelta finale di una lunga ed attenta analisi delle possibili combinazioni di modalità di variabili censuarie in grado di generare un'informazione pertinente rispetto allo schema concettuale sottostante la costruzione dell'indice sintetico (v. Cap.5, par. 5.4). La scelta è stata orientata dalla volontà di assicurare, per la base dati del 2011, la possibilità di riferire l'analisi a tutti i livelli territoriali per cui

sono state rilevate le variabili censuarie, dalla sezione censuaria fino al livello comunale.

Si è partiti dunque dall'analisi della letteratura che ha suggerito l'adozione di uno schema di rappresentazione della vulnerabilità rispetto al tema dell'esposizione al rischio nell'indice composito di vulnerabilità socio-demografica, V_{sd} .

L'indice composito di vulnerabilità socio-demografica è rappresentato dalle seguenti dimensioni:

- *Indicatori demografici*: con riferimento alla popolazione di età inferiore ai 6 anni, superiore ai 74 anni e all'indice di vecchiaia;
- *Struttura familiare*: con riferimento ai nuclei familiari composti da un solo individuo e da quelli composti da sei e più individui;
- *Livello di istruzione*: con riferimento al tasso di analfabetismo, alla percentuale di diplomati e laureati;
- *Partecipazione al mercato del lavoro*: con riferimento al tasso di occupazione/disoccupazione;

L'indicatore composito viene costruito attraverso la sintesi di 10 indicatori, riferiti alla dimensione socio-demografica (Tabella 7.13), ritenuti più rilevanti per la formazione di una graduatoria che rappresenti uno strumento di facile lettura, in grado di esprimere con un unico valore i diversi aspetti di un fenomeno di natura multidimensionale. Questo tipo di analisi va ricondotto alla dimensione in cui lo spazio urbano è il soggetto centrale, e i diversi ambiti di indagine, le sezioni censuarie, vengono caratterizzate secondo l'incidenza o densità delle categorie d'interesse.

Tabella 7.13 | Definizione degli indicatori di Vulnerabilità socio-demografica e Vulnerabilità abitativa.

Indicatori per l'Indice di Vulnerabilità socio-demografica - V_{sd}		
Descrizione	Simbolo	Formula (<i>8mila Census</i>)
1. Popolazione di età < 6 anni	Pop ⁶⁻	-
2. Popolazione di età > 74 anni	Pop ⁷⁴⁺	-
3. Indice di vecchiaia	I_v	Pop^{64+}/Pop^{15-}
4. Incidenza famiglie monocomponente	F^1	F^1/Pop
5. Incidenza famiglie con sei e più componenti	F^{6+}	F^{6+}/Pop
6. Incidenza diplomati	Pop ^{dip}	$Pop^{dip}/Pop - Pop^{19-}$
7. Incidenza di laureati	Pop ^{lau}	$Pop^{lau}/Pop - Pop^{25-}$
8. Tasso di analfabetismo	Pop ^{an}	Pop^{an}/Pop^{6+}
9. Tasso di occupazione	Pop ^{occ}	$Pop^{occ}/Pop^{15+} \cdot Pop^{74+}$
10. Tasso di disoccupazione	Pop ^{dis}	$[FL^* - Pop^{occ}]/FL$

*FL = Forza Lavoro

7.7.1. Risultati dell'analisi della vulnerabilità socio-demografica

Per costruire l'indice di vulnerabilità socio-demografica a partire dalle variabili sottoposte a *spatial smoothing* si è usato un metodo tradizionale di analisi multivariata: l'analisi delle componenti principali (PCA - *Principal Component*

Analysis). Dal momento che la PCA si basa sulla varianza in comune tra le variabili, è necessario includere nel modello le variabili che risultano correlate con le altre⁶⁴.

Le variabili sono state sottoposte a *spatial smoothing* e standardizzate⁶⁵.

La PCA è stata condotta sui due sottoinsiemi che compongono l'indice sintetico di vulnerabilità socio-demografica, per i dati censuari del 2011: indicatori demografici (Tabella 7.13, variabili 1-2-3-4-5), livello di istruzione e partecipazione al mercato del lavoro (Tabella 7.13, variabili 6-7-8-9-10), derivando i coefficienti in Tabella 7.14.

Tabella 7.14 | Coefficienti delle componenti principali estratti dalla PCA per l'Indice di Vulnerabilità socio-demografica, Vsd.

Indicatori	(a) Coefficienti	(b) Coefficienti (a/max)
I_d - Indicatori demografici		
Pop ⁶⁻	-0,795	-0,88
Pop ⁷⁴⁺	0,897	1
I _v	0,872	0,97
F ¹	0,81	0,89
F ⁶⁺	-0,51	-0,57
I_{to} - Titolo di studi e Partecipazione al mercato del lavoro		
Pop ^{dip}	0,89	0,99
Pop ^{lau}	0,80	0,88
Pop ^{an}	-0,77	-0,85
Pop ^{occ}	0,90	1
Pop ^{dis}	-0,88	-0,97

Ogni sottoinsieme è una combinazione lineare delle variabili della Tabella 7.13 con i corrispondenti coefficienti indicati nelle Tabella 7.14. Questa combinazione è calcolata per ciascuna sezione censuaria, secondo la formula 5.12 (v. Cap.5, par.5.4.3). In particolare, con riferimento alla formula 5.12, ogni sottoinsieme sarà espresso dalla formula:

$$I_d = (-0,79 * x_{iPop^{6-}}) + (0,89 * x_{iPop^{74+}}) + (0,87 * x_{iI_v}) + (0,81 * x_{iF^1}) - (0,51 * x_{iF^{6+}}) \quad (7.5)$$

$$I_{to} = (0,89 * x_{iPop^{dip}}) + (0,80 * x_{iPop^{lau}}) - (0,77 * x_{iPop^{an}}) + (0,90 * x_{iPop^{occ}}) - (0,88 * x_{iPop^{dis}}) \quad (7.6)$$

con x_i il corrispondente valore della variabile nella i -esima sezione censuaria.

⁶⁴ In generale viene considerata debole una correlazione compresa tra -0.3 e + 0.3.

⁶⁵ Cioè trasformate sottraendovi la media e dividendole per la deviazione standard nel campione.

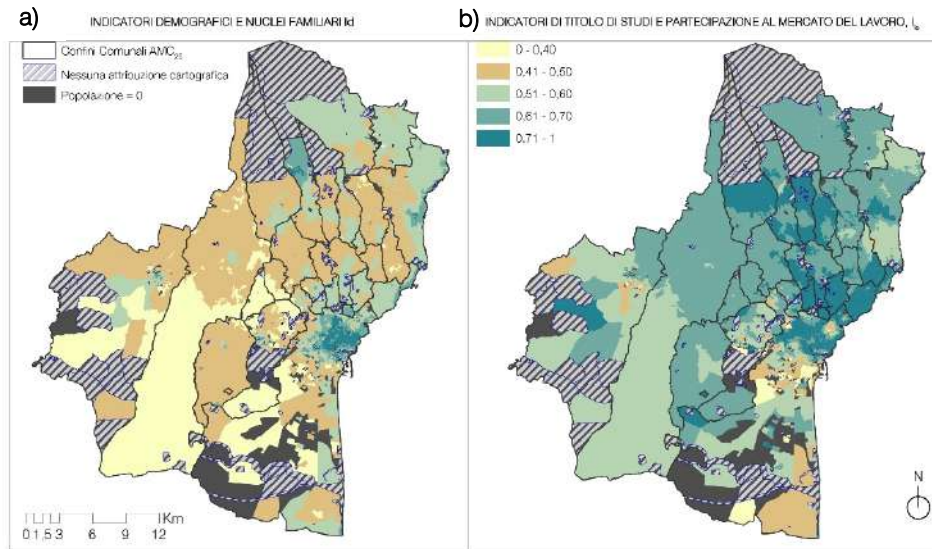
Sugli indicatori viene effettuata una normalizzazione *min-max*, in cui i dati vengono ridimensionati e scalati su intervallo fisso [0,1].

Dall'analisi dei due sottoinsiemi, I_d e I_{to} , attraverso il supporto GIS è possibile rappresentare la distribuzione spaziale dei due indicatori sintetici. In particolare, l'indicatore demografico I_d (Figura 7.18a) rappresenta una misura positiva della vulnerabilità sociale V_{sd} , in quanto i suoi valori evidenziano luoghi dell'area metropolitana con percentuali di residenti superiori alla media in categorie demografiche appartenenti alle fasce di popolazione in età anziana (Pop⁶⁴⁺), in relazione alla fascia di popolazione giovane (Pop¹⁵⁻) e molto anziana (valori superiori alla media dell'indice indicano valori superiori alla media di percentuali di residenti nella fascia di popolazione sopra i 74 anni) e una percentuale superiore alla media di famiglie composte da un unico componente. L'indice misura negativamente la percentuale di residenti di età inferiore ai 6 anni e di famiglie composte da 6 e più componenti. Le variazioni della distribuzione spaziale dell'indice segnalano nelle aree in cui l'indice è più alto la tendenza della popolazione residente verso percentuali di categorie demografiche più anziane e nelle aree in cui l'indice è più basso una maggiore presenza di categorie demografiche più giovani e una minore presenza di categorie più anziane rispetto alla media dell'area metropolitana. Valori alti di questo indice si associano dunque a zone 'anziane' rispetto alla media cittadina, diversamente valori bassi corrispondono a zone con popolazione residente più giovane della media. Valori intermedi dell'indice individuano regioni con percentuali di residenti vicine alla media in tutte le variabili dell'indice.

Più in dettaglio, la Figura 7.18a evidenzia la presenza di percentuali maggiori della media nelle sezioni censuarie delle aree centrali dei comuni: questo fenomeno è particolarmente evidente nel centro di Catania, nel centro di Acireale e di Aci Castello.

L'indicatore I_{to} rappresenta una misura negativa della vulnerabilità sociale V_{sd} : all'aumentare del valore dell'indicatore del titolo di studio e partecipazione al mercato del lavoro, la vulnerabilità complessiva della sezione censuaria si riduce. I suoi valori evidenziano luoghi dell'area metropolitana con percentuali di residenti superiori alla media in categorie sociali appartenenti alle fasce di popolazione diplomata, laureata e occupata e con percentuali di residenti inferiori alla media in categorie sociali appartenenti alle fasce di popolazione analfabeta e disoccupata (Figura 7.18b).

Figura 7.18| Distribuzione spaziale nell'Area Metropolitana di Catania, AMC₂₅, dei due sottoinsiemi dell'indice di vulnerabilità socio-demografica V_{sd} . a) Indicatore demografico e nuclei familiari, I_d ; b) Indicatore del titolo di studi e partecipazione al mercato del lavoro, I_e .



La Figura 7.18a evidenzia la maggiore concentrazione degli alti valori dell' I_d nelle zone centrali dei comuni analizzati. In particolar modo, l'ultimo *range* della distribuzione dell'indicatore, l'intervallo 0,70-1,00, nella sola Catania, copre 548 sezioni censuarie, una percentuale pari al 96% delle sezioni censuarie dell'intera Area Metropolitana che ricadono in questo *range*, ed il 22% delle sezioni censuarie del solo comune capoluogo. Questo, oltre a dipendere dalle maggiori dimensioni del comune in termini di popolazione e numero complessivo di sezioni censuarie, dipende dalla coorte di popolazione nella fascia di età superiore ai 30 anni che tende ad allontanarsi dalle zone centrali, in cerca di nuovi modelli insediativi nei comuni contermini. Concentrazioni nello stesso *range* della distribuzione si trovano ad Acireale, Paternò e Pedara. La distribuzione spaziale dell'indicatore demografico evidenzia una tendenza centrifuga quasi in ogni comune dove la concentrazione maggiore si associa al comune capoluogo per degradare verso le aree periferiche e meno urbanizzate. Tuttavia questa tendenza ha coinvolto i cosiddetti comuni di 'prima corona', in cui i fenomeni di invecchiamento della popolazione residente assumono *patterns* di distribuzione spaziale sempre più assimilabili a quelli del capoluogo, dimostrando come il tessuto della città storica non è più il solo ad essere tipicamente caratterizzato da detti fenomeni.

Infatti se il 13,36% delle sezioni censuarie è nell'ultimo *range* della distribuzione, il 47% sono le sezioni nel terzo (0,51-0,60) e quarto (0,61-0,70) *range* della distribuzione, indicando percentuali di residenti superiori alla media dell'area metropolitana in categorie demografiche 'anziane'. Questo *range* caratterizza quasi completamente i comuni di 'prima corona', Aci Castello, San Gregorio, San Giovanni La Punta, Gravina di Catania, le sezioni

dei quartieri centrali di Mascalucia, Nicolosi, Pedara, Trecastagni, Viagrande, Aci Sant'Antonio, Acireale, Paternò e Belpasso. Soltanto il 38% sono le sezioni censuarie con valori inferiori alla media.

La Figura 7.18b evidenzia la distribuzione spaziale dell'indicatore sintetico del titolo di studio e partecipazione al mercato del lavoro, I_{to} . Nel comune capoluogo la distribuzione spaziale evidenzia la differenza tra centro storico e aree di espansione degli anni Cinquanta e Sessanta. Queste ultime caratterizzate da sezioni censuarie nell'ultimo *range* della distribuzione (0,70 -1,00). Detta espansione procede verso nord-est nel quartiere di Picanello e verso nord-ovest in quelle aree di ampliamento a carattere residenziale, che dovevano accogliere i Piani di edilizia economica e popolare, ex lege 167/62. Queste aree sono, invece, caratterizzate dai *range* più bassi della distribuzione dell'indicatore I_{to} . Più di un quarto delle sezioni censuarie di Catania (28%) si trova nei primi due *range* della distribuzione, caratterizzate da un peso percentuale inferiore alla media dei valori dell'indicatore. La maggiore concentrazione di sezioni censuarie nei primi due *range* dell'indicatore, 0-0,40, 0,41-0,50 (28.5%) e quasi la metà delle sezioni del comune (43%) si trova nel comune di Paternò (Figura 7.18b).

Tabella 7.15 | Distribuzione percentuale dei cinque *ranges* degli indicatori I_d e I_{to} nelle sezioni censuarie dell'AMC₂₅.

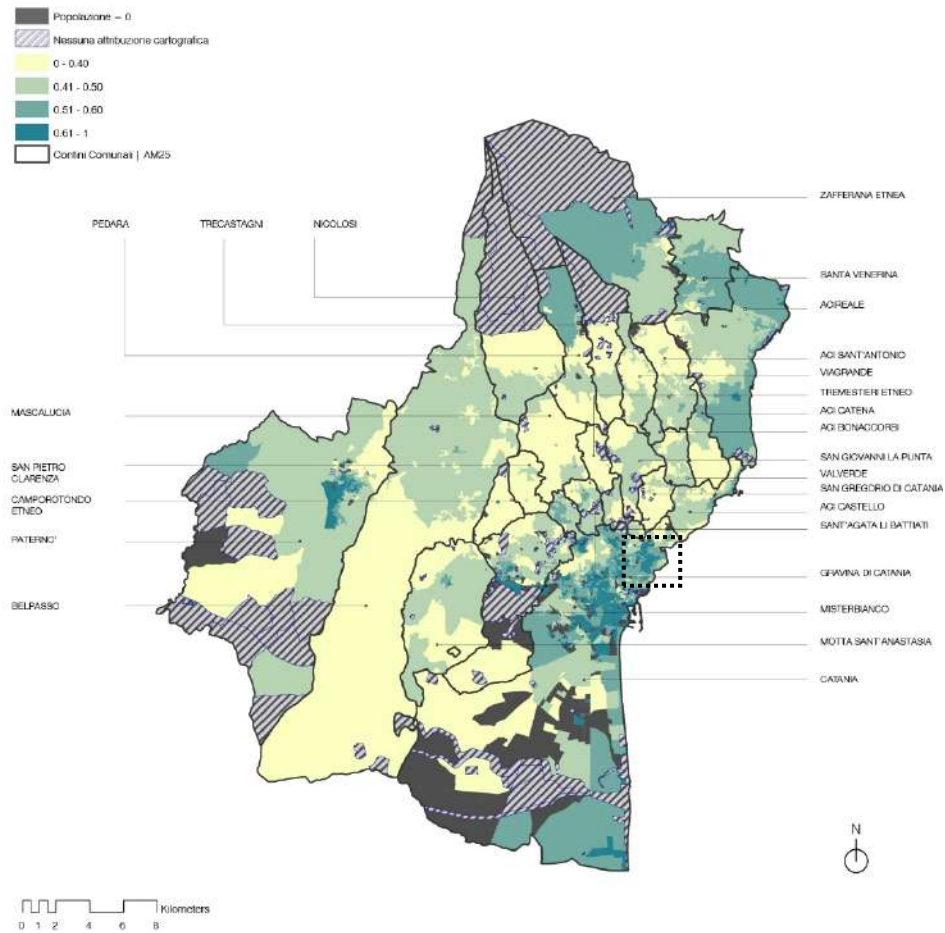
I_d , Indicatori demografici		I_{to} , titolo e posizione occupazionale
1. $\geq 0 \leq 0.40$	448/4241 = 10.56%	301/4241 = 7.10%
2. $> 0.40 \leq 0.50$	1192/4241 = 28.10%	788/4241 = 18.60%
3. $> 0.50 \leq 0.60$	1307/4241 = 30.81%	993/4241 = 23.40%
4. $> 0.60 \leq 0.70$	727/4241 = 17.14%	1243/4241 = 29.30%
5. $> 0.70 \leq 1.00$	567/4241 = 13.36%	916/4241 = 21.60%

L'Indice di Vulnerabilità socio-demografica, V_{sd} sarà espresso dalla somma:

$$V_{sd} = I_d - I_{to} \quad (7.7)$$

I risultati dell'analisi spaziale evidenziano elevate concentrazioni di vulnerabilità in corrispondenza di alcune sezioni censuarie, e sottolineano come gli indicatori si sovrappongano sulle stesse sezioni censuarie, producendo un aumento progressivo della vulnerabilità localizzata.

La mappatura dell'Indice di vulnerabilità socio-demografico V_{sd} (Figura 7.19) mostra un andamento quasi concentrico rispetto ai nuclei urbani centrali dei 25 comuni dell'Area Metropolitana di Catania: le regioni centrali presentano infatti valori prevalentemente alti dell'indice, mentre allontanandosi dal centro si incontrano prima una fascia di valori diffusamente più bassi per quanto riguarda l' I_d (riduzione della popolazione più anziana, nuclei familiari più ampi) e più alti per quanto riguarda l' I_{to} (titoli di studio superiori al diploma, tasso di occupazione).

Figura 7.19 | Distribuzione spaziale della Vulnerabilità socio-demografica, V_{sd} per quantili.

L'invecchiamento della popolazione è tra i principali fattori del processo di 'vulnerabilizzazione' della società: le trasformazioni demografiche di cui si è parlato nel paragrafo 7.7, caratterizzano l'Area Metropolitana di Catania, come confermato dalla distribuzione spaziale della Vulnerabilità socio-demografica. Questo implica che la presenza di popolazione over 64 non è ugualmente compensata da popolazione in età giovanile, causando un diffuso aumento dell'indice di vecchiaia. Un'accentuata presenza di anziani e la sempre più evidente presenza di famiglie monocomponente che caratterizzano i nuclei familiari comportano un'elevata esposizione ai fenomeni di marginalizzazione sociale che impediscono l'inserimento in circuiti di informazione e di supporto nei casi di emergenza, amplificando il livello di vulnerabilità delle zone esposte a rischio sismico.

Mappe di rischio sismico rispetto alla vulnerabilità socio-demografica.

Le mappe sono date dalla combinazione delle tre componenti di vulnerabilità, accelerazione, ed esposizione come espresso nella formula

5.14 del Capitolo 5, par.5.6. Più in dettaglio, data la j -esima sezione di censimento, (con $j=1,2,3,\dots,4241$)⁶⁶ si applica il modello moltiplicativo:

$$(R_{sd})_j = (V_{sd})_j (E_p)_j (P)_j \quad (7.8)$$

dove:

$(V_{sd})_j$ è vulnerabilità socio-demografica della j -esima sezione di censimento come espresso dalla formula 7.7;

$(E_p)_j$ è l'esposizione della popolazione considerata in rapporto alla superficie in Km² occupata, per tenere conto della densità di abitanti di ogni sezione censuaria.

$(P)_j$ è la pericolosità rappresentata dall'accelerazione per la j -esima sezione censuaria⁶⁷.

Il Rischio della componente socio-demografica, definito R_{sd} è stato normalizzato (con normalizzazione *min-max*): i dati vengono ridimensionati e scalati su intervallo fisso [0,1], al fine di avere un intervallo facilmente leggibile delle condizioni di rischio distribuite attraverso le 4241 sezioni censuarie. Si riconoscono in questo modo 5 *range* di Rischio socio-demografico (Tabella 7.16).

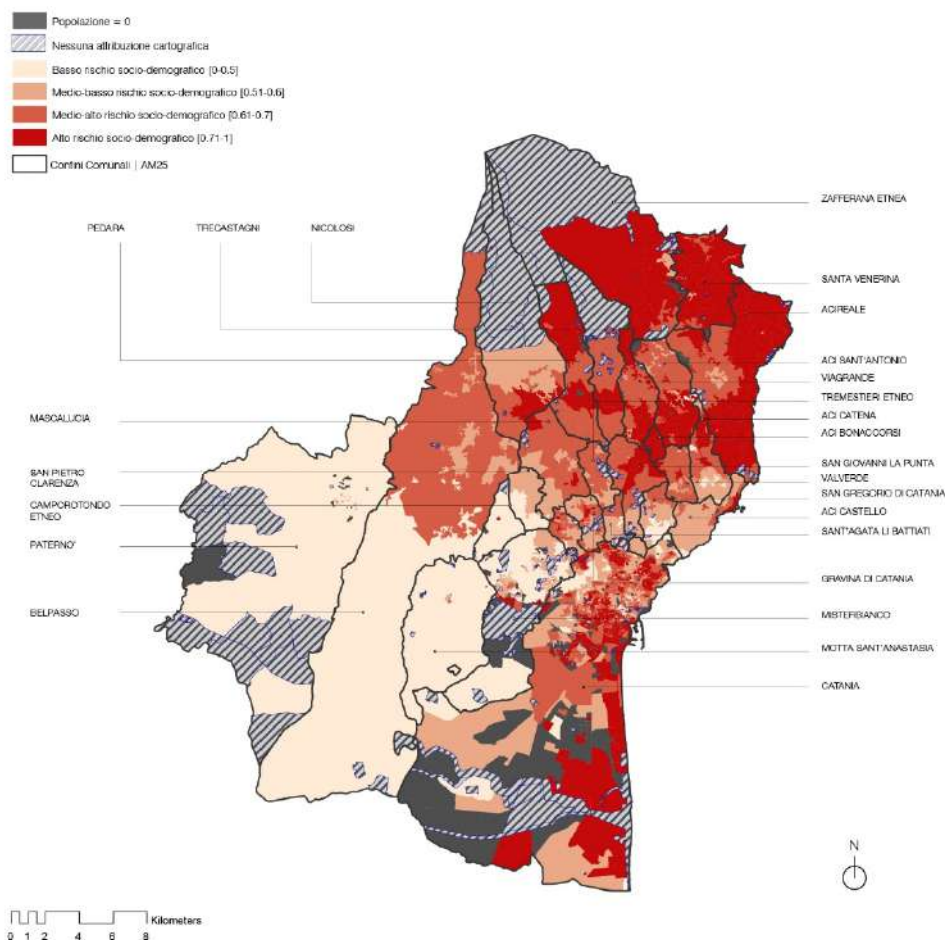
Tabella 7.16 | Quartili di R_{sd} , espressi nell'intervallo [0,1].

Categoria	Range
Basso R_{sd}	0 – 0.50
Medio-basso R_{sd}	0.51 – 0.60
Medio-alto R_{sd}	0.61 – 0.70
Alto R_{sd}	0.71 – 1

⁶⁶ Le sezioni censuarie dei 25 comuni afferenti all'Area Metropolitana di Catania sono 4624. Di queste, 170 sezioni non hanno attribuzione dei dati della popolazione e delle abitazioni (Istat, 2011) con le basi cartografiche. A queste sezioni se ne aggiungono 213 in cui la popolazione totale è zero.

⁶⁷ Al fine di avere la distribuzione dell'accelerazione per sezione censuaria è stata restituito dalla *Grid* dell'IDW (v.Cap. 5, par. 5.5) un file puntiforme che consente di avere una maggiore distribuzione statistica dei punti di accelerazione sull'area in esame rispetto a quella fornita dalla MPS04 con 0.05 *array* tra un punto ed un altro, ed una restituzione vettoriale dell'accelerazione di gravità al suolo. Ogni punto dell'accelerazione di gravità è stato dunque unito alle sezione di censimento (*Spatial Join*) attraverso la funzione statistica *mean*. In questo modo ogni sezione ha un valore medio di accelerazione.

Figura 7.20 | Mappa sismica del Rischio socio-demografico Rsd (Quartili).



L'ultimo quartile della distribuzione del Rischio socio-demografico mette in evidenza le aree più a rischio dell'AMC₂₅ per un insieme combinato di fattori: pericolosità sismica dell'area, esposizione della popolazione e Vulnerabilità socio-demografica. La mappatura (Figura 7.20) consente di individuare, al livello di dettaglio della sezione di censimento, le aree nei *range* alti del rischio socio-demografico. In ordine decrescente di rischio, Catania comprende il 72% delle sezioni nel range di R_{sd} Alto, in quanto il comune più grande e con una presenza rilevante di sezioni di censimento (2274) rispetto agli altri comuni dell'Area Metropolitana. Seguono i comuni di Acireale (7,35%), Aci Sant'Antonio (2,73%), Pedara (2,45%), Aci Catena (2,17%). Tuttavia rispetto al numero totale delle sezioni di censimento dei comuni dell'AMC₂₅, Aci Bonaccorsi presenta la quasi totalità delle sezioni nel range alto di R_{sd} . Come illustrato nella Figura 7.21, i comuni sono distribuiti in ordine crescente di Rischio socio-demografico alto. Il Comune capoluogo si trova in una situazione intermedia, mentre soffrono di particolare condizione di Rischio socio-demografico, oltre al già citato comune di Aci Bonaccorsi, i comuni di Zafferana Etnea, Acireale, Santa Venerina, Nicolosi, Viagrande, Trecastagni e Pedara. Tale condizione è certamente influenzata dai più elevati valori di pericolosità sismica del distretto meridionale dell'Etna e dai valori della

vulnerabilità socio-demografica. Il confronto tra la mappatura del rischio socio-demografico e rischio fisico (v. Cap.5, par 5.6) consente anche di visualizzare le aree dell'area metropolitana in cui sono prioritari interventi sul tessuto sociale piuttosto che interventi sul tessuto fisico, ovvero sul patrimonio edilizio, secondo la seguente classificazione:

- Basso R_{sd} – Basso R_f
- Basso R_{sd} – Alto R_f
- Alto R_{sd} – Basso R_f
- Alto R_{sd} – Alto R_f (Figura 7.22).

Dal momento che la classificazione dipende, come si diceva, anche dalle condizioni di pericolosità sismica della sezione di censimento specifica è importante verificare le condizioni di vulnerabilità così come indicate all'inizio del presente paragrafo perché non esiste una zona in cui il rischio sia basso in senso assoluto.

Figura 7.21 | Classificazione dei comuni dell'AMC₂₅ in funzione della percentuale crescente di sezioni di range alto della classificazione di R_{sd} per comune.

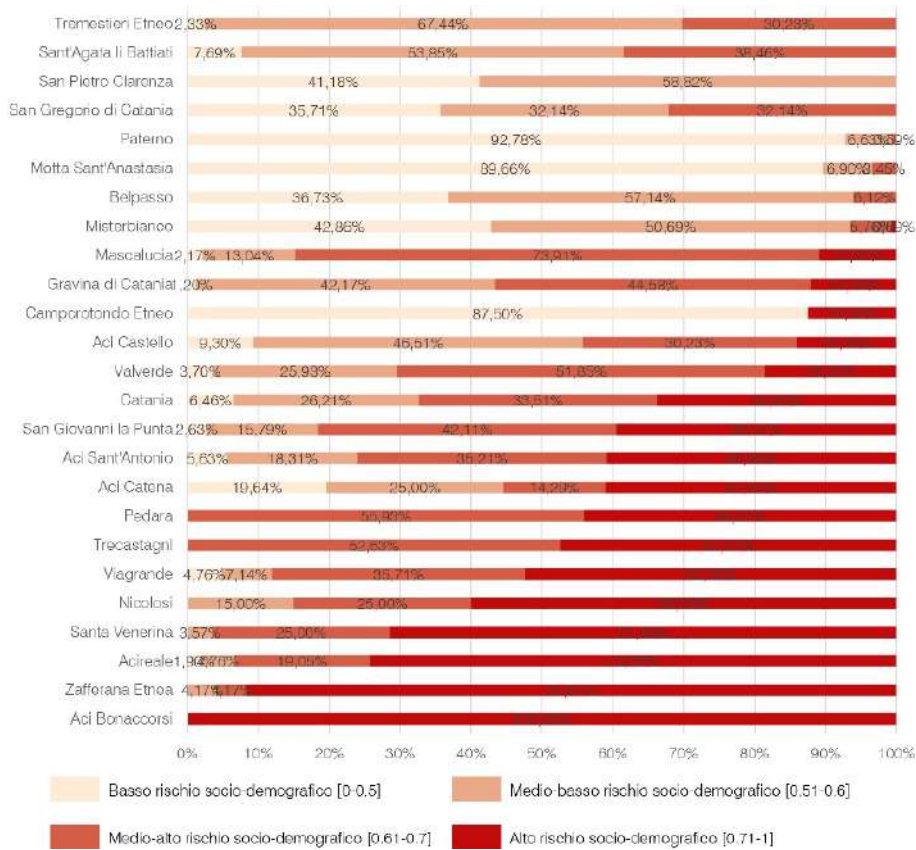
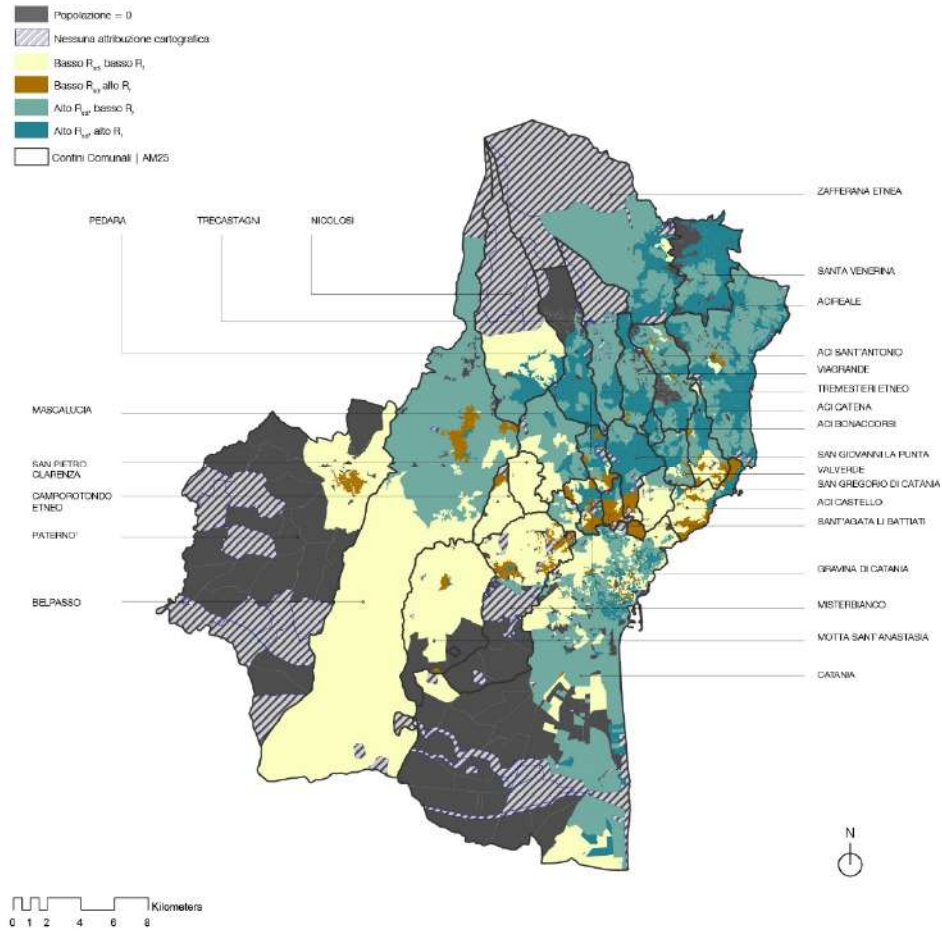


Figura 7.22 | Confronto tra Rischio socio-demografico e Rischio fisico



Questo consente di rappresentare con ottimo livello di precisione le priorità di intervento, indirizzate a politiche strutturali sia sul patrimonio edilizio e sulle caratteristiche socio-demografiche della popolazione residente.

Il rischio fisico è dato dal prodotto della probabilità di accadimento dell'evento naturale (sulla base del database contenuto nella Mappa della Pericolosità Sismica Italiana (2004) (v. par. 5.3.4, *punto E*), che fa riferimento all'accelerazione massima del suolo, a_g , e probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli rigidi (Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b), per l'esposizione e la vulnerabilità del patrimonio edilizio. Il prodotto restituisce un livello di rischio che varia da estremamente basso a estremamente alto. Utilizzando lo stesso modello di riferimento adottato per il rischio fisico, il rischio socio-demografico è rappresentato dalla probabilità di accadimento dell'evento naturale per l'esposizione e per le componenti di vulnerabilità individuate per l'area analizzata della popolazione residente.

Da un punto di vista della pianificazione urbana e delle possibilità di intervento nelle aree così individuate, questi livelli di rischio sono tradotti in limiti di rischio 'accettabile' – 'tollerabile' – 'intollerabile', e a loro volta espressi

in modalità di possibile intervento nelle zone di rischio attraverso livelli di controllo variabili da parte dell'amministrazione.

Lo studio così sviluppato consente di identificare le strategie di uso del suolo compatibili con le aree a rischio, introducendo opzioni di mitigazione con la previsione di possibili cambiamenti di destinazione d'uso, al fine di indirizzare gli interventi da sostenere nelle aree esposte tra le possibili opzioni di mitigazione del pericolo, quali per esempio la possibilità di vendere il proprio immobile, di ridurre la densità residenziale di alcune aree a rischio elevato, di rilocalizzare sia alcune attività, sia la costruzione di determinate infrastrutture. Sulla base delle possibili opzioni vengono sviluppate le opportune risposte di pianificazione (Tabella 7.17).

Tabella 7.17 | Livelli di controllo del suolo compatibili con le aree a rischio dell'AMC₂₅

Livello combinato di rischio	Livello di controllo del suolo
<i>ACCETTABILE</i>	<i>PERMESSO</i>
Rischio fisico basso Rischio socio-demografico basso	<ul style="list-style-type: none"> • È ammesso un incremento dell'intensità dell'uso del suolo
<i>TOLLERABILE CON AZIONI</i>	<i>PERMESSO A CONDIZIONE:</i>
Rischio fisico alto Rischio socio-demografico basso	<ul style="list-style-type: none"> • Verifica delle indagini di vulnerabilità del patrimonio edilizio sviluppate mediante modellazione (Lagomarsino e Giovinazzi, 2006) • Incentivi per la ristrutturazione del proprio immobile di residenza e • Rilocalizzazione di attività produttive • Definizione di una Struttura Urbana Minima a supporto del Piano di Emergenza della Protezione Civile
<i>TOLLERABILE CON AZIONI</i>	<i>PERMESSO A CONDIZIONE:</i>
Rischio fisico basso Rischio socio-demografico alto	<ul style="list-style-type: none"> • Verifica delle indagini socio-demografiche rilevate attraverso informazioni censuarie • Analisi e coinvolgimento degli <i>stakeholders</i> per la costruzione di una rete di residenti che consenta una sinergia di mutuo soccorso in caso di emergenza • Analisi della componente sociale e demografica e implementazione di politiche per la riduzione della dispersione scolastica • Incentivazione attraverso canoni agevolati di residenti nella fascia di età compresa tra i 30 e i 45 anni per ridurre il processo di clusterizzazione della popolazione più anziana nei quartieri più vecchi
<i>INTOLLERABILE</i>	<i>LIMITATO PREVIA:</i>

<p>Rischio fisico alto Rischio socio-demografico alto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Campagne mirate di indagini in situ per individuare la quantità e qualità degli edifici esposti al rischio sismico • Interventi di microzonazione sismica delle sezioni censuarie in condizioni di rischio fisico alto • Mappatura campionaria della vulnerabilità sismica degli edifici • Individuazione di comparti di vulnerabilità sismica 'omogenea' in cui è possibile assegnare una ripartizione degli edifici in classi di vulnerabilità, in cui viene identificata la vulnerabilità prevalente • Interventi di mitigazione e riduzione della vulnerabilità sismica per zone a vulnerabilità omogenea • La riduzione del pericolo, attraverso un'azione sistematica di opere di messa in sicurezza e di miglioramento sismico degli edifici esistenti • Rimozione delle criticità (elementi di vulnerabilità) delle costruzioni qualora presenti e/o aumento della capacità globale delle strutture
---	---

7.8 Considerazioni

In contesti di esposizione ai pericoli, come quello sismico analizzato nella presente ricerca, gli indicatori compositi di vulnerabilità sociale sono strumenti raramente adottati in sede di programmazione territoriale. Nonostante gli indicatori sintetici di fenomeni complessi siano spesso oggetto di critiche, soprattutto con riferimento alle metodologie utilizzate per la selezione, trasformazione e aggregazione degli indicatori elementari, alcune loro caratteristiche, prima fra tutte la facilità di lettura e replicabilità rispetto ai diversi livelli territoriali, hanno favorito un loro sempre più diffuso utilizzo, specie in sede di valutazioni collegate alla programmazione, e rappresentano uno strumento utile ad avviare e stimolare una discussione e un interesse pubblici verso il tema della vulnerabilità sociale.

Lo strumento proposto parte da considerazioni generali relativamente ai livelli di vulnerabilità della popolazione residente nelle sezioni censuarie, al 2011. Per individuare la vulnerabilità socio-demografica è stato adottato la PCA, ma l'indice sintetico è stato sviluppato con una metodologia che permette di avere traccia di ogni indicatore che definisce l'indice finale. In questo modo per ogni sezione censuaria è possibile risalire all'indicatore più influente nell'indice sintetico, e conseguentemente proporre delle strategie mirate per la riduzione della vulnerabilità specifica.

Gli indicatori individuati sono coerenti con la più ampia letteratura sul tema del rischio. In questo senso sono stati investigati 10 indicatori, in linea con le caratteristiche socio-territoriali dell'area indagata.

Ai fini di una esaustiva interpretazione di tali caratteristiche sociali è opportuno effettuare delle verifiche tramite indagini campionarie che consentono il duplice effetto di confermare (o meno) le ipotesi effettuate da indagine statistica e coinvolgere d'altra parte il maggior numero possibile di *stakeholders*. Per esempio, sezioni censuarie in cui è dominante la presenza di anziani, richiederebbero interventi orientati a ridurre le difficoltà di mobilità degli utenti; uno specifico intervento in questa direzione potrebbe facilitare l'evacuazione in caso di sisma. Oppure facilitare politiche di diversificazione socio-demografiche, come per esempio l'adozione di canoni agevolati per i giovani in cerca di primo alloggio, che limiterebbero l'isolamento dei più anziani, e contemporaneamente rallenterebbero il processo di abbandono di alcuni quartieri centrali, per la ricerca di modelli abitativi differenti.

La possibilità di ottenere un'informazione sintetica della vulnerabilità socio-demografica, grazie agli indicatori selezionati, consente di porre l'attenzione su aspetti del rischio ritenuti, nella lettura dominante, marginali. La programmazione di indirizzi politici per la mitigazione del rischio sismico, può partire dalla complessa integrazione dei fattori fin qui analizzati, individuando in questo modo, da una lettura per strati informativi tematici, i contesti dove è prioritario l'intervento, attraverso una sua caratterizzazione qualitativa e comparativa.

La sovrapposizione del Rischio socio-demografico e del Rischio-fisico rappresenta una chiave di lettura per definire come l'interazione di questi fenomeni contribuisca in maniera sostanziale all'individuazione delle zone a maggiore rischio. Questo anche ai fini di individuare le aree più critiche e, quindi, le priorità di intervento urbanistico, sviuppando una classificazione delle aree urbane che tenga conto tanto dell'edificato (materiali di costruzione, stato di conservazione, numero di piani, epoca di realizzazione da abbinare a modelli di pericolosità sismica), quanto della componente sociale, per determinare con maggior dettaglio i livelli di rischio associato al verificarsi di possibili eventi sismici. La sovrapposizione di questi livelli informativi, aggiornabili in quanto indipendenti, potrà essere di supporto alla definizione di efficaci procedure di pianificazione e gestione territoriale, oltre a fornire strumenti per la definizione di efficaci piani di emergenza.

L'analisi dell'apparato socio-demografico, insieme con l'analisi del tessuto urbano, nei suoi elementi di vulnerabilità connessi ai processi di sottoutilizzazione, di abbandono e di degrado, sollevano alcune importanti riflessioni nei termini di un'analisi integrata del rischio, in quanto ridefiniscono gli indirizzi da intraprendere in sede di formazione dello strumento urbanistico.

È importante richiamare la netta distinzione tra pericolo e rischio, che ha delle ricadute nella pianificazione: infatti il rischio, essendo legato al possibile

impatto sulle persone, sui beni e sulle proprietà, sulle infrastrutture e sull'ambiente va misurato in relazione alle conseguenze che il pericolo di una certa probabilità possa colpire una comunità. Per questa ragione i pianificatori devono conoscere il rischio causato da un dato pericolo, in particolar modo quando devono bilanciare trasformazioni o nuovi insediamenti, attraverso una pianificazione strategica.

Lo strumento proposto può diventare parte di una Carta integrata dei rischi (sul modello dello schema di massima di Messina, v. Cap. 4, par.4.6). La Carta viene sviluppata in funzione delle informazioni di cui dispone la città (PAI, Faglie e Microzonazione sismica di livello 1, Rischio sismico, Rischio socio-demografico). Ognuno di questi strati informativi è indipendente e conseguentemente sempre aggiornabile e consentirebbe la redazione di una *Mappa di tutela ambientale* che si basa sulla Carta integrata dei rischi ed è sviluppata in sinergia con il Piano di Protezione Civile.

Attraverso un unico elaborato viene restituito un quadro sintetico di vulnerabilità del territorio necessario ad indirizzare scelte di prevenzione strategiche sul territorio. Le informazioni potranno dunque confluire negli strumenti di regolamentazione e pianificazione urbanistica, fondati su efficaci contromisure di mitigazione del rischio e orientate alla sicurezza, sia delle aree insediate che di quelle insediabili.

Riferimenti bibliografici

ANCE/CRESME (2012), Primo Rapporto. *Lo stato del territorio italiano 2012. Insediamento e rischio sismico e idrogeologico*, ANCE/CRESME, Roma.

Azzaro R., E. Lo Giudice, R. Ras'a (1989), Catalogo degli eventi macrosismici e delle fenomenologie da creep nell'area etnea dall'agosto 1980 al dicembre 1989, In *Boll. Gruppo Nazionale Vulcanologia* 1, 13–46.

Azzaro R., S. D'Amico, T. Tuvè (2011), Estimating the magnitude of historical earthquakes from macroseismic intensity data: new relationships for the volcanic region of Mount Etna (Italy), In *Seismol. Res. Lett.* 82 (4), 520–531.

Azzaro R., A. Bonforte, S. Branca, F. Guglielmino (2013), Geometry and kinematics of the fault systems controlling the unstable flank of Etna volcano (Sicily), In *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 251, 5–15.

Barreca G., A. Bonforte, M. Neri (2013), A pilot GIS database of active faults of Mt. Etna (Sicily): a tool for integrated hazard evaluation, In *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 251, 170–186.

Crichton D. (1999), The risk triangle, In J. Ingleton (Ed.) *Natural disaster management*. London: Tudor Rose.

Gambino S., G. Barreca, F. Gross, C. Monaco, S. Ktastel e M.A. Gutscher, (2021), Deformation Pattern of the Northern Sector of the Malta Escarpment (Offshore SE Sicily, Italy): Fault Dimension, Slip Prediction, and Seismotectonic Implications, In *Front. Earth Sci.* 8, 594176.

Gutscher M., S. Dominguez, B. Mercier de Lepinay, L. Pinheiro, F. Gallais, N. Babonneau, A. Cattaneo, Y. Le Faou, G. Barreca, A. Micallef, M. Rovere (2016), Tectonic expression of an active slab tear from high-resolution seismic and bathymetric data offshore Sicily (Ionian Sea), In *Tectonics* 34.

Kron W. (2002), Flood risk = hazard x exposure x vulnerability, In Wu M. et al., (Eds.) *Flood Defence*, Science Press, New York, 82-9.

Petrucci G., S. Carlino (2015), Città distrutte e rifondate: il grande terremoto siciliano del 1693, In *GeoResearch Center Italy – GeoBlog* 9, ISSN 2240-7847.

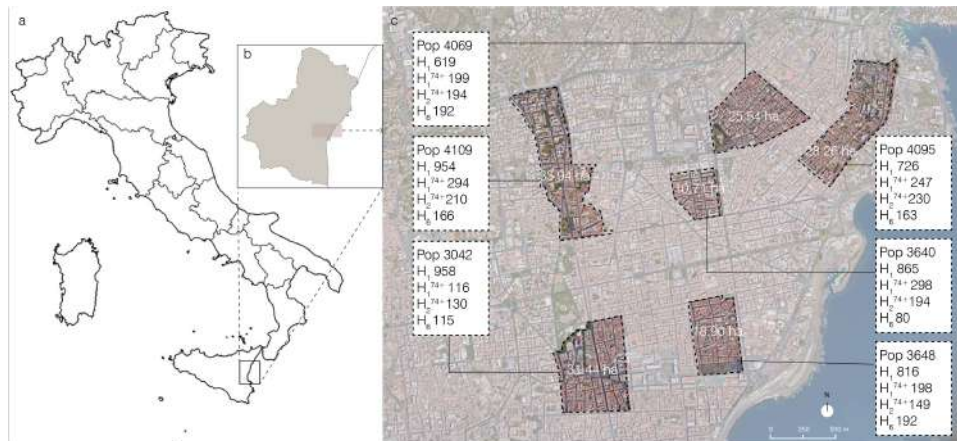
Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2020, The Italian earthquake catalogue CPTI15, In *Bulletin of Earthquake Engineering* 18, 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>.

CAPITOLO 8 • Caso di studio | Indagine di un quartiere di Catania

8.1 Introduzione

Un quartiere dell'Area Metropolitana di Catania, situata in Sicilia (Lat. 37.30 North, Long. 15.07 East), viene considerato come caso di studio (Figura 8.1a e Figura 8.1b). La metodologia descritta nel Capitolo 6 viene applicata in un quartiere caratterizzato da elevate volumetrie pro-capite, elevata densità residenziale, assenza di spazi aperti, edifici costruiti precedentemente alle normative antisismiche e indice di vecchiaia tra i più alti dell'area comunale. La metodologia adottata viene applicata al livello locale in un quartiere con popolazione compresa tra i 3000 e 4000 abitanti. Inoltre l'area selezionata ha la caratteristica di contenere in una superficie molto ridotta l'equivalente della popolazione residente negli altri quartieri (Figura 8.1) con analoghe caratteristiche, e una densità abitativa che si attesta su valori di 340 ab/ha.

Figura 8.1 | a) Individuazione geografica dell'Area Metropolitana di Catania b) Perimetro dell'Area Metropolitana di Catania e c) Localizzazione dei quartieri di Catania e possibile applicazione della metodologia adottata. Ogni quartiere riporta alcuni degli indicatori esplicitati in Tabella 8.2.

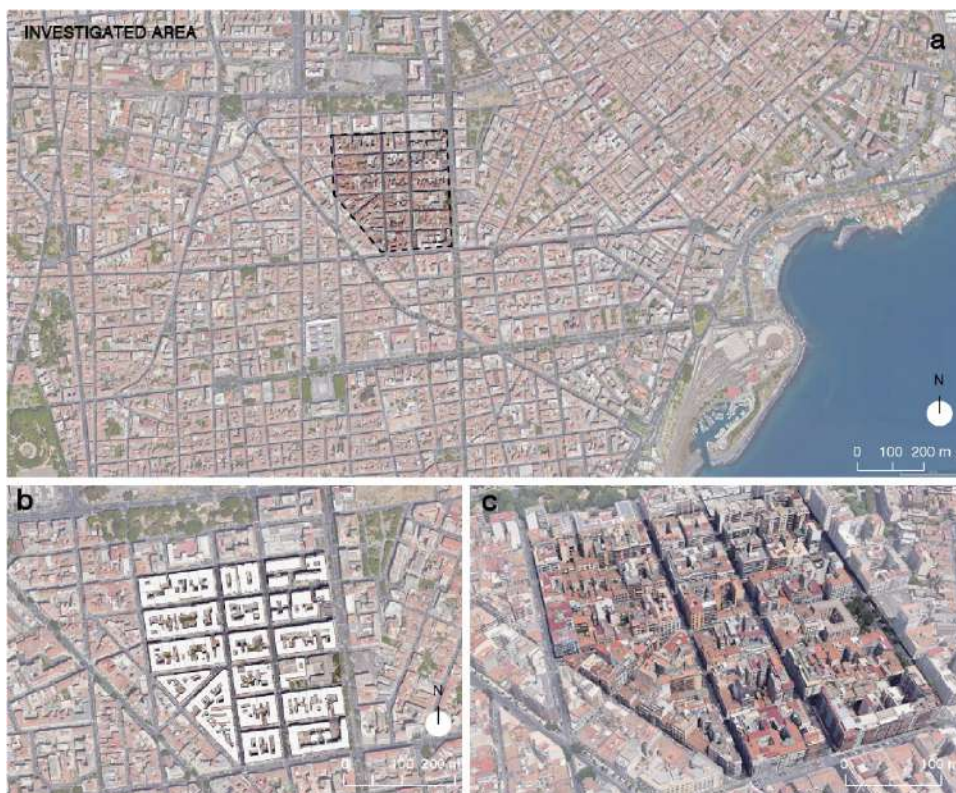


La città di Catania è stata distrutta dal terremoto del Val di Noto, l'11 gennaio del 1693, con intensità epicentrale XI e magnitudo 7,2. È stata completamente ricostruita nel rispetto dei dettami del Duca di Camastra che indicavano alcune regole di precauzione antisismica: strade larghe e dritte, dalla maglia ad angoli retti, interrotte da piazze frequenti e regolari, un'immagine questa ancora leggibile nella città storica (Dato, 1983). Finita la paura del terremoto, la città continua a crescere su se stessa, attraverso sopraelevazioni o programmazioni di sopraelevazioni, e lo stesso Gentile Cusa, autore del Piano Regolatore del 1888 della città consente la sopraelevazione dell'attuale sede del Comune. Questo atteggiamento è stato perpetrato senza sosta fino al 1982, quando già a partire dalla seconda metà degli anni Cinquanta le tecniche costruttive erano cambiate. In conseguenza, risultano alti i tassi di rischio rilevabili sia negli edifici in muratura che nei palazzi in cemento armato costruiti a cavallo degli anni '50

e '80, realizzati senza tenere conto di alcuna misura antisismica (Campo, 2004). La situazione fotografata dall'ISTAT al 2011, accomuna la maggior parte delle sezioni censuarie in cui è suddiviso il territorio di Catania, per il peso percentuale degli edifici costruiti tra il 1946 e il 1980. Infatti, nel 76% delle sezioni censuarie, gli edifici costruiti in questo intervallo temporale costituiscono almeno il 75% del totale.

L'area indagata misura 10,71 ha e ospita una popolazione di 3604 abitanti secondo i recenti dati anagrafici, raccolti nelle Liste Anagrafiche Comunali (LAC) aggiornate al dicembre 2019. L'area selezionata è inclusa nel Piano Regolatore Generale, datato 1969, ed è definita area residenziale con mix funzionale. La Figura 8.2 individua l'area indagata nell'immagine satellitare bidimensionale e tridimensionale (Figura 8.2a 8.2c), e il tessuto edilizio composto da 164 edifici (Figura 8.2b).

Figura 8.2| Area di studio: a) Immagine satellitare dell'area di studio; b) Individuazione dei 164 edifici oggetto di indagine; c) Vista tridimensionale dell'area di indagine.



A partire dal 1928 nel *Piano Topografico di Catania e Suburbio* (1:5000) i tracciati meridionali delle due principali arterie che lambiscono a est e a sud l'area di indagine erano appena accennati, in particolare l'inizio di Viale Vittorio Veneto e la Via Gabriele D'Annunzio, rispettivamente, segno della crescita della città verso nord. Questo processo ha determinato la definizione di alcuni isolati nella parte sud occidentale dell'area di indagine, caratterizzata dalle dimensioni ridotte degli edifici, realizzati in muratura,

rispetto a quelli che dominano la zona orientale realizzati in cemento armato. Il processo di espansione della città verso nord ha comportato l'edificazione di un quartiere di funzione principalmente residenziale: gli edifici sono presenti nelle mappe già nel 1951 (Direzione Generale del Catasto e dei Servizi Erariali, Provincia di Catania) e nel 1964 (Piano Regolatore Generale del Comune di Catania). Gli unici due edifici con carattere non residenziale sono la scuola Mario Rapisardi, costruita nel 1933 e l'adiacente Cinema Capitol, ormai dismesso, costruito tra il 1953 e il 1957. Il 72% degli edifici è costruito in cemento armato, a fronte del restante 28% in muratura portante. L'area è caratterizzata da una tessitura a maglie ortogonali, con strade di dimensioni comprese tra 6,50 e 12,00 m. In media gli edifici hanno un'altezza di 20 m, risultante in un numero complessivo medio di 6-7 piani. Con DM 16/01/1996 viene introdotto l'obbligo del rispetto della distanza minima di sicurezza tra edifici, in funzione del rapporto tra altezza degli edifici e larghezza delle strade. Nell'area indagata l'altezza degli edifici supera frequentemente la larghezza delle strade.

La normativa antisismica nazionale (L 64/1974), inoltre, solo a partire dal 1974 prescriveva l'emanazione di norme tecniche per le costruzioni sia pubbliche che private in zona sismica, e l'aggiornamento della classificazione sismica attraverso appositi decreti ministeriali ogni qualvolta fosse giustificato dall'evolversi delle conoscenze dei fenomeni sismici. Il successivo DM 23/9/1981 comportò, dunque, l'adeguamento delle zone sismiche italiane, con una procedura per cui l'inserimento dei comuni nelle zone sismiche dipendeva dai nuovi terremoti che di volta in volta colpivano il paese. Anche la Regione Siciliana si adeguò all'aggiornamento delle zone sismiche, in funzione della classificazione allora vigente, in categorie di primo e secondo livello, attribuendo ai comuni del capoluogo etneo una zona di categoria sismica II, corrispondente al parametro $S=9^{68}$ (la zona di categoria I, corrispondente al parametro sismico più alto $S=12$ era già attribuita e confermata con DM 23/9/1981, alle zone della Sicilia Occidentale che avevano subito il terremoto del Belice del 1968).

L'area indagata non è conforme a nessuna delle prescrizioni di legge riportate (Tabella 8.1).

Tabella 8.1 | Principali riferimenti normativi antecedenti alle NTC2018.

Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974	Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
--	--

⁶⁸ A seconda della zona di riferimento, la normativa attribuiva un parametro S, che in base ad una specifica formula, forniva un coefficiente da moltiplicare per il peso della struttura. Questo valore veniva poi ripartito ad ogni piano dell'edificio e se, l'edificio era in cemento armato, ad ogni telaio con metodi e ipotesi noti in letteratura. Il risultato era una forza orizzontale da applicare ai nodi travi-pilastro. La risoluzione del telaio (piano o spaziale a seconda delle ipotesi) così definito fornisce i valori di sollecitazione. Utilizzando lo spirito del metodo di calcolo maggiormente utilizzato nel 1996 (tensioni ammissibili) occorre verificare che le tensioni fossero inferiori a dei valori fissati dalla normativa. Le ipotesi di calcolo erano limitate al campo elastico.

DM 23 settembre 1981	Aggiornamento delle zone sismiche in Sicilia (ai sensi e per gli effetti della L 64/1974)
Legge n.741 del 10 dicembre 1981 (art.20)	Le regioni emanano norme per l'adeguamento degli strumenti urbanistici generali e particolareggiati vigenti, nonché sui criteri per la formazione degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione del rischio sismico.
Legge Regione Siciliana n.135 del 15 novembre 1982	Norme per l'attuazione dell'art. 20 della L 10 dicembre 1981, n. 741

Dall'indagine della popolazione, emerge che la coorte di popolazione più giovane (0-14 anni) è minore di quella anziana, evidenziando una struttura regressiva della popolazione. Infatti, a fronte di una popolazione di età superiore ai 64 anni (Pop⁶⁴⁺) di 1066 individui, la popolazione giovane (Pop¹⁵⁻) consta di 353 elementi (Tabella 8.2).

Tabella 8.2| Dati di popolazione e dell'area edificata, uso del suolo e parametri della strada dell'area indagata.

Description	Symbol	Value	Unit
Area	A _{site}	10.71	ha
Population			
Population	Pop	3604	-
Population density	Pop/A _{site}	336.50	ln/ha
Households	H	1815	-
Medium age	M _a	49,59	-
Median age	Me _a	51	-
Population 64 ⁺	Pop ⁶⁴⁺	1066	-
Population 15 ⁻	Pop ¹⁵⁻	353	-
Population 6 ⁻	Pop ⁶⁻	111	-
Population 74 ⁺	Pop ⁷⁴⁺	598	-
		Rate	%
Ageing Index	A _i	-	Pop ⁶⁴⁺ / Pop ¹⁴⁻
One member households	H ₁	865	H ₁ / Pop
One member 74 ⁺ households	H ₁ ⁷⁴⁺	298	H ₁ ⁷⁴⁺ /Pop
Two members households	H ₂	852	H ₂ / Pop
Two members households 74 ⁺	H ₂ ⁷⁴⁺	194	H ₂ ⁷⁴⁺ /Pop
Two members households 18 ⁻	H ₂ ¹⁸⁻	48	H ₂ ¹⁸⁻ / Pop
Households 6 ⁺	H ₆ ⁺	80	H ₆ ⁺ /Pop
Foreigns residents	F _r	199	F _r /Pop
Built-up area data	Symbol	Value	Unit
Buildings Number	B	164	-
Total buildings volume	V _{bds}	1,218,243	m ³
Buildngs density	V _{bds} / A _{site}	113,748	m ³ / ha
Total residential buildings volume	V _{r,bds}	993,886	m ³

Average building height	h_{wtd}	20.1	m
Floor average number	F_{av}	6	-
Building's total gross floor area	A_{bldg}	56,089	m ²
Dwelling units	D_u	2,464	-
Soil use fraction	Symbol	Value	Unit
Floor area ratio	FAR	52.37	%
Impervious surface area	$A_{\text{imp}}/A_{\text{site}}$	99	%
Pervious surface	$A_{\text{per}}/A_{\text{site}}$	0.09	%
Street parameters			
Street width	W^*	6.50-12.00	m
Street aspect ratio	H/W^*	0.85-3.00	m
Sidewalks width	w^*	0.80-1.20	m

*maximum and minimum values in the investigated area

L'indice di vecchiaia, dato dal rapporto della popolazione over 64 sulla popolazione under 15 è di 302, il doppio della media cittadina, che si attesta sul valore di 158,1 (Istat, 1° gennaio 2019) (Figura 8.3). La Figura 8.4 evidenzia il numero dei nuclei familiari presente in ogni unità edilizia. La contrazione dei nuclei familiari è resa manifesta dal fatto che in 61 edifici dell'area di indagine i nuclei familiari composti da un solo componente rappresentano il 25-40%. In 8 edifici le famiglie monocomponente rappresentano il 40-60% e in 10 edifici i nuclei familiari monocomponente rappresentano il 60-100%. La famiglia monocomponente rappresenta un fattore di vulnerabilità quando caratterizzata da individui in età anziana: è questo il caso degli edifici in cui le famiglie monocomponente con componente di età superiore ai 74 anni sono 14 e il peso percentuale di tale categoria è compreso tra 20 e il 40%. Cinque sono gli edifici in cui questa categoria rappresenta più del 40% degli abitanti insediati, ed in quattro di questi la totalità (Figura 8.4d).

L'area indagata è composta da 164 unità edilizie, che ospitano un totale di 2464 appartamenti. Mediamente abitano 1,46 persone per appartamento, evidenziando un processo di sottoutilizzazione del patrimonio reso ancora più evidente dal valore della volumetria residenziale pro-capite pari mediamente a 380,17 m³/ab, a fronte degli 80/100 m³/ab indicati nel DM 1444/68 come valore ottimale (Figura 8.5a). Il calcolo della volumetria residenziale è stato sviluppato eliminando dal computo un piano, corrispondente al piano terra e destinato ad attività commerciale, o di pertinenza degli edifici in quanto locale tecnico o con uso di deposito o rimessa. Le occorrenze nell'intervallo 225-450 m³/ab rappresentano il 45% dei casi. Nel 20% delle occorrenze si individuano valori dalle 5 alle 33 volte superiori (450-2636 m³/ab) a quelli considerati ottimali nel DM 1444/1968 (Figura 8.5a).

Figura 8.3| Caratteristiche demografiche della popolazione: a) Numero di abitanti per unità edilizia; b) Popolazione di età superiore ai 64 anni per edificio; c) Popolazione al di sotto dei 15 anni per edificio; d) Indice di vecchiaia, rapporto tra la popolazione over 64 e la popolazione under 15 per edificio.

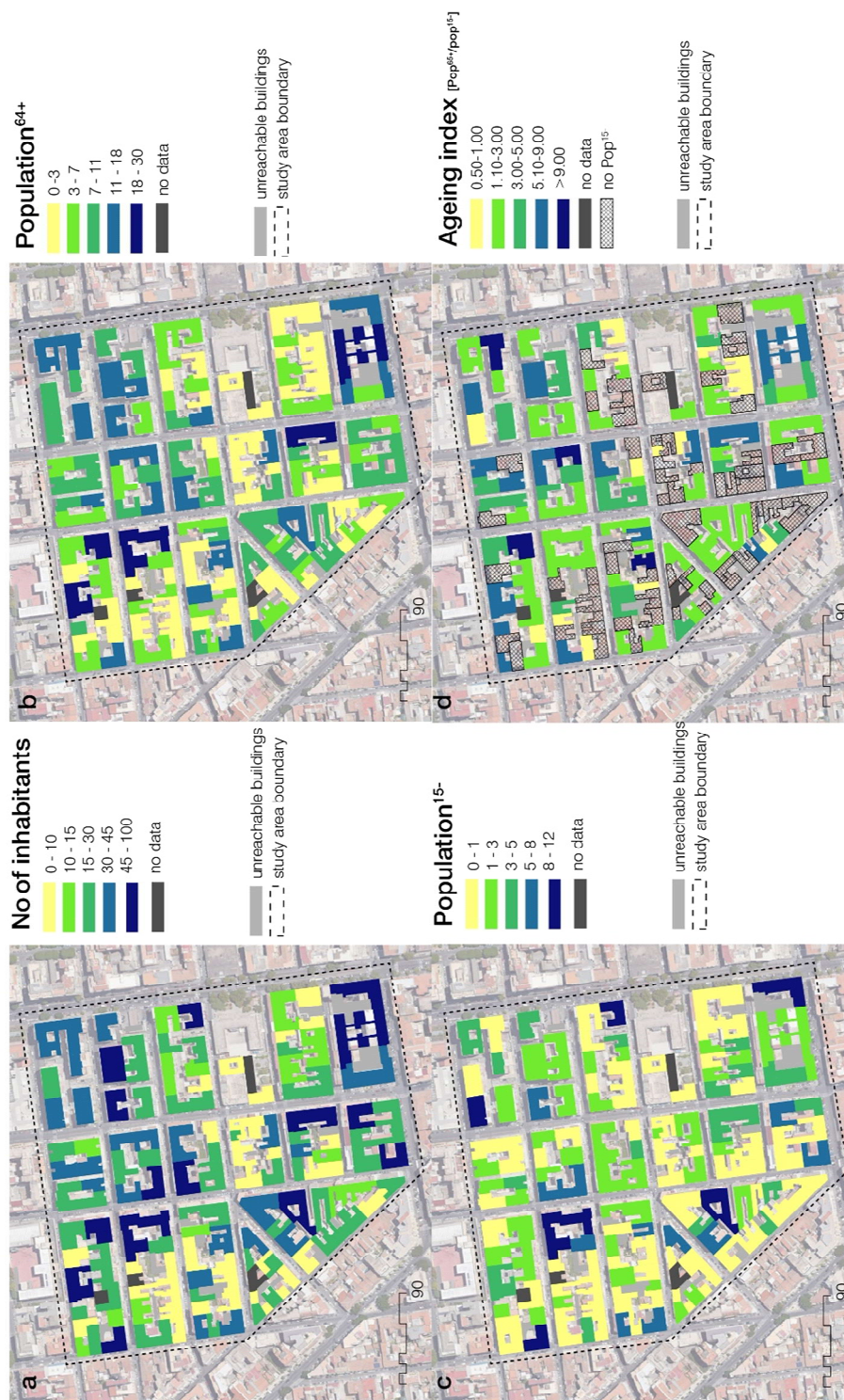


Figura 8.4| Caratteristiche dei nuclei familiari: a) Numero di famiglie per unità edilizia; b) Famiglie monocomponente (H_1/Pop) per unità edilizia; c) Famiglie bicomponenti (H_2/Pop) per unità edilizia; d) Famiglie monocomponente con componente di età superiore ai 74 anni (H_1^{74+}/Pop) per unità edilizia.

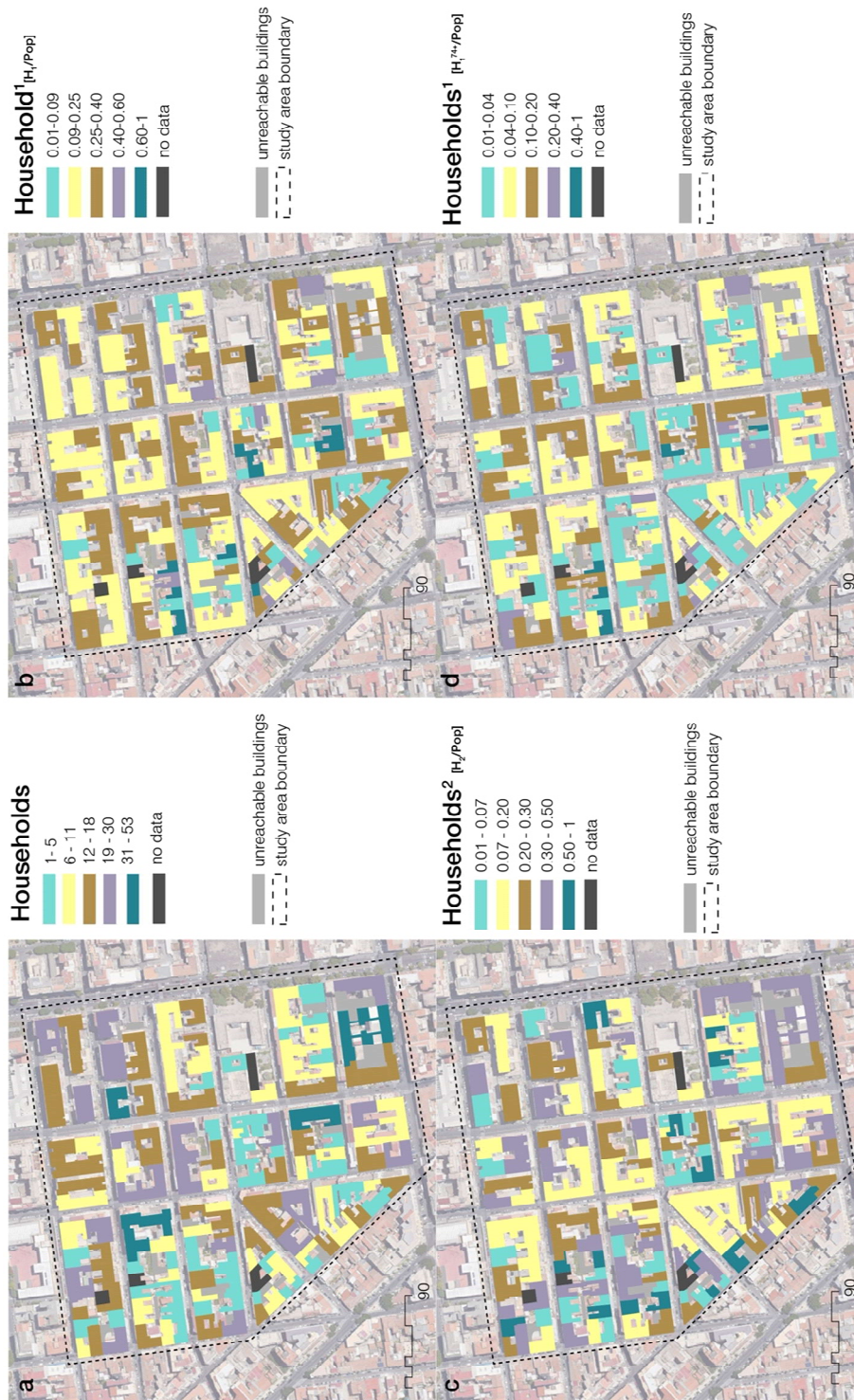
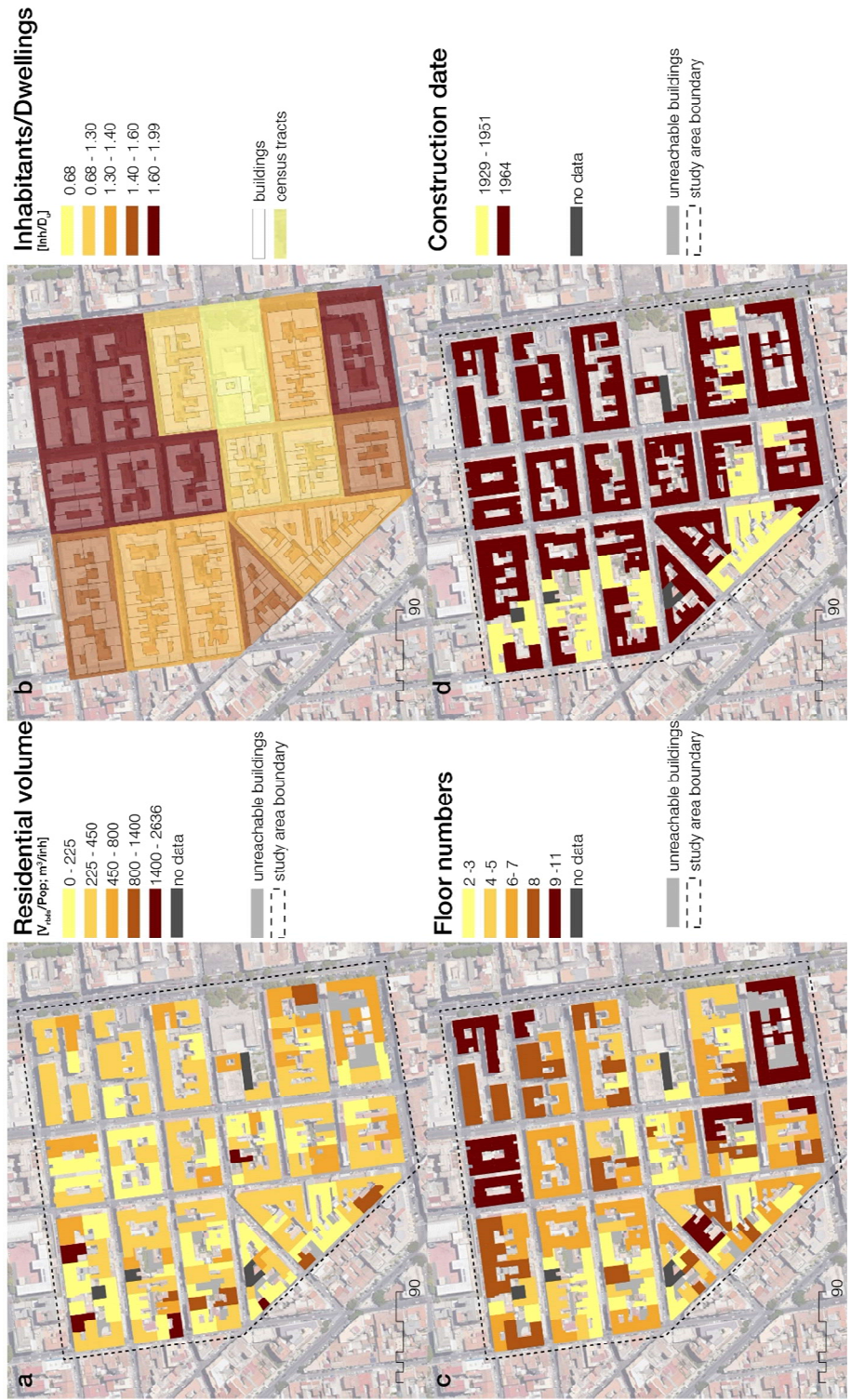


Figura 8.5| Caratteristiche degli edifici: a) Volume residenziale per unità edilizia; b) Numero di abitanti per appartamento (analisi sviluppata per sezione di censimento); c) Numero di piani per edificio; d) Data di costruzione degli edifici.



8.2 Rischio oggettivo: analisi e mappatura

Ogni edificio viene classificato in funzione delle sue caratteristiche tipologico-costruttive. La tipologia costruttiva è identificata secondo un codice alfanumerico:

- le prime due lettere indicano la tecnica costruttiva: RC (*Reinforced Concrete*) cemento armato; MA (*Masonry*) muratura.
- la terza lettera minuscola indica la morfologia planimetria: *l* - edifici a 'elle'; *li* - edifici in 'linea'; *c* - edifici a 'c'; *oc* – (*open courtyard*) edifici a 'corte aperta'; *cc* – (*closed courtyard*) edifici a 'corte chiusa'.
- la terza lettera maiuscola individua la posizione planimetrica: *A* - edificio in 'aggregato'; *I* - edificio 'isolato'.
- il numero indica il numero massimo di piani per categoria.

Vengono identificate 17 tipologie, a cui viene attribuito un valore di vulnerabilità in funzione delle schede illustrate in Tabella 6.1 e Tabella 6.2 (v. Cap. 6, par. 6.4).

La Figura 8.6 evidenzia la distribuzione spaziale delle categorie tipologico-costruttive nell'area indagata. In Tabella 8.3 è riportato il calcolo della vulnerabilità per un edificio tipo, in cemento armato a corte aperta e isolato composto da 8 piani (RC-oc I8). La sommatoria dei parametri è un valore maggiore di zero ($k_i \geq 0$) per cui si applica la formula 6.1:

$$(V_b)_j = V_m + 88 \sum_i k_i = 12 + 88 \cdot 0.425 = 49.4$$

Tabella 8.3 | Calcolo del livello di vulnerabilità per un edificio tipo in cemento armato, a corte chiusa, isolato, composto da 8 piani.

Parameters <i>k</i>	Typology: RC oc-I8	
	<i>Description</i>	<i>value</i>
1.1	Construction date	0.1875
1.2	Resisting system type	0.125
1.3	Mean column normal stress at 1° level ($\sigma = N_p \cdot q \cdot A / Sp$)	0.1875
1.4	Regularity	-0.2
1.5	Infill typology 1° level	0.125
1.6	Non structural elements	0
1.7	Location and soil condition	0
$\sum k_i =$	1.1+1.2+1.3+1.4+1.5+1.6+1.7	0.425

In Tabella 8.4 sono riportati i valori di vulnerabilità per le 17 categorie tipologico-strutturali individuate. I valori di vulnerabilità sono stati normalizzati rispetto al valore massimo.

Come anticipato nella descrizione metodologica, per il calcolo del rischio oggettivo viene applicato il modello di Crichton (1999). Il Rischio oggettivo (*Objective Risk*) per il *j-esimo* edificio (con $j=1,2,\dots,164$), è espresso dalla relazione 6.3:

$$(R_o)_j = \frac{(V_b)_j}{\max[(V_b)_j]} \frac{(V_{6-74})_j}{\max[(V_{6-74})_j]} \frac{(E_{ab})_j}{\max[(E_{ab})_j]}$$

In cui:

$(V_b)_j$ la pericolosità parametrizzata in relazione alla vulnerabilità sismica del singolo edificio, così come riportato in Tabella 6.1 (v. Cap.6, par.6.4) e normalizzato rispetto al valore massimo per singolo edificio;

$(V_{6-74})_j$ la vulnerabilità degli abitanti espressa in relazione alla popolazione di età inferiore ai 6 anni (Pop^6) e superiore ai 74 anni (Pop^{74+}) e normalizzato rispetto al valore massimo per ogni edificio;

$(E_{ab})_j$ l'esposizione degli abitanti per ogni edificio.

Il Rischio oggettivo così calcolato è normalizzato nell'intervallo 0-1 (normalizzazione min-max). In Figura 8.7a viene riportata la distribuzione spaziale del rischio oggettivo nell'area indagata.

Tabella 8.4 | Vulnerabilità calcolata per ciascuna delle 17 categorie tipologico-strutturali presenti nell'area di indagine.

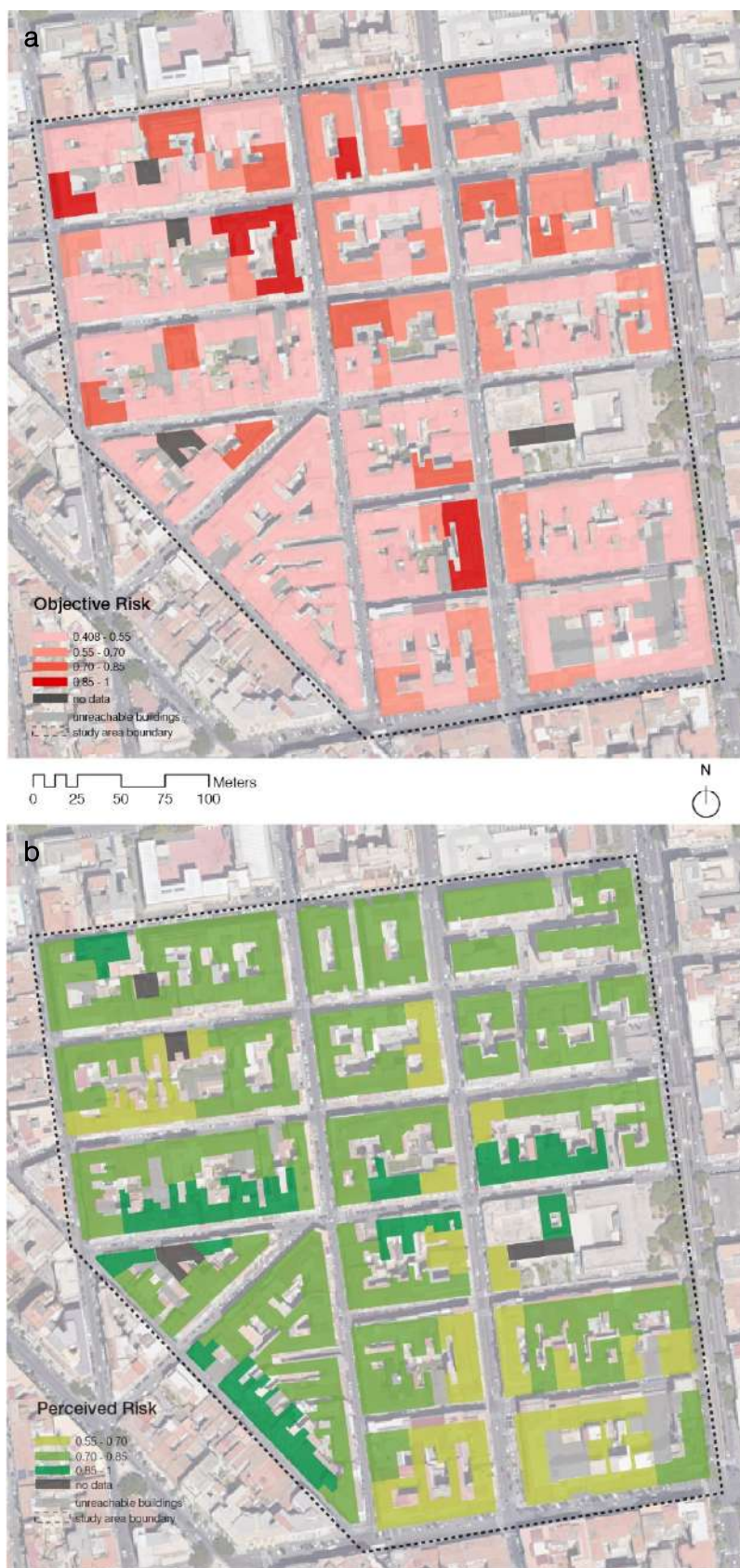
Typology	Number of buildings	Vulnerability (V_b)
RC_IA11	4	0.14
RC_I I10	1	0.32
RC_li A9	13	0.32
RC_li A11	9	0.32
RC_cc A8	2	0.32
RC_oc A7	22	0.35
RC_I A6	15	0.35
RC_oc I8	4	0.58
RC_oc1 A8	9	0.74
RC_oc1A9	7	0.74
RC_oc2A8	8	0.74
RC_oc2A9	4	0.74
RC_I A9	22	1
MA_mh3	11	0.26
MA_mh5	10	0.34
MA_ml3	16	0.67
MA_ml5	7	0.79

Figura 8.6 | Categorie tipologico-strutturali delle 164 unità edilizie presenti nell'area indagata: a) Schema planimetrico delle 17 categorie tipologico-strutturali individuate; b) Legenda.



Reinforced concrete		isolated		Aggregate			
Parameters: Area Columns number Floors number		500 m ² 47-56 columns 8 floors		200 m ² 35 columns 7 floors	350 m ² 40 columns 6 floors	400 m ² 45 columns 9 floors	
RC oc	Reinforced concrete 'open courtyard'	RC oc - B		RC oc - A7	RC oc - A8	RC oc - A9	
RC I	Reinforced concrete 'alle'	380 m ² 44 columns 10 floors	RC I - H0	190 - 270 m ² 40 columns 6 floors	RC I - A9	280 - 440 m ² 40 - 44 columns 9 floors	RC I - A11
RC II	Reinforced concrete 'line'			130 - 260 m ² 20 - 25 columns 9 floors	RC II - A19	350 - 480 m ² 36 - 50 columns 11 floors	
RC cc	Reinforced concrete 'close courtyard'			312 - 820 m ² 40 - 60 columns 7 - 8 floors	RC cc - A8		
Masonry		isolated		Aggregate			
Parameters: Floors number Finishes characteristic structural intervention				MA-mh3	- 2 - 3 floors - Finishes quality: medium-high - Structural interventions		
MA	Masonry			MA-mh5	- 4 - 5 floors - Finishes quality: medium-high - Structural interventions		
				MA-ml3	- 2 - 3 floors - Finishes quality: medium-low - No structural interventions		
				MA-ml5	- 4 - 5 floors - Finishes quality: medium-low - No structural interventions		

Figura 8.7| Spazializzazione di: a) Rischio oggettivo e b) Rischio percepito dell'area indagata.



8.3 Rischio percepito

La valutazione del rischio percepito viene sviluppata in funzione del modello descritto nel paragrafo 6.5 (v. Cap.6) di Martin e Hofer & Hamann. Vengono quindi descritte le variabili adottate nel questionario.

La conoscenza soggettiva (*Subjective knowledge*) è espressa in relazione alle seguenti variabili:

- stato di conservazione dell'edificio di residenza;
- caratteristiche di resistenza sismica del proprio immobile;
- istituzione di riferimento in caso di emergenza sismica;
- conoscenza della normativa antisismica per le nuove costruzioni e per il miglioramento e adeguamento sismico degli immobili esistenti;
- sismicità della città di residenza;
- aree di attesa della Protezione Civile in cui recarsi in caso di evento sismico;
- conoscenza dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia o altri istituti di ricerca per approfondire il tema del rischio sismico;
- conoscenza di gruppi o organizzazioni attivi nel campo della prevenzione.

La self-efficacy (*Self-efficacy*) è espressa in relazione alle seguenti variabili:

- misure di auto-prevenzione nel caso di affitto di immobile espresse nella richiesta di certificazioni di sicurezza sismica equiparabili alle certificazioni energetiche, fornite per legge dagli affittuari;
- misure di auto-prevenzione per il miglioramento sismico degli immobili non antisismici in condominio;
- interventi di miglioramento sismico del proprio immobile, in conseguenza dell'ultimo terremoto in ordine temporale che ha colpito la zona etnea.

L'esperienza (*Hazard Experience*) con precedenti terremoti è espressa in relazione alle seguenti variabili:

- esperienza con i precedenti terremoti che hanno colpito la città di Catania;
- danni strutturali e non strutturali subiti a causa di eventi sismici anche lievi;
- esperienza con eventi sismici del passato che hanno suscitato paura verso la possibilità di eventi sismici futuri.

Le caratteristiche del terremoto (*Nature and features of disaster*) sono espresse in relazione alle seguenti variabili:

- caratteristiche di pericolosità della Sicilia in relazione alle categorie di macro-zonazione sismica espresse dall'OPCM 3274/2003;
- tempi di ritorno dell'evento sismico espresso dall'atteso *Big One* (terremoto paragonabile per intensità a quello verificatosi nel 1693 di magnitudo 7,2);

- caratteristiche amplificative del terremoto per effetto della presenza dell'uomo e della sua modalità di confrontarsi con l'ecosistema;
- governabilità dei terremoti.

Le attitudini comportamentali dei rispondenti sono invece rappresentate dalle seguenti variabili:

- propensione ad intervenire sulla governabilità dei terremoti attraverso interventi strutturali nel quartiere di residenza con previsione di maggiore qualità verde, predisposizione di spazi aperti comuni e l'adeguamento sismico del patrimonio edilizio;
- analisi e approfondimento delle tematiche sismiche attraverso un'informazione non generalista;
- propensione ad introdurre in tutte le sedi di lavoro, residenza e svago, opportune misure di preparazione all'evento sismico attraverso simulazioni, esercitazioni di evacuazione;
- partecipazione ai processi decisionali che riguardano l'assetto della città, con particolare riguardo alla sicurezza sismica individuale e collettiva;
- propensione ad accedere alle detrazioni fiscali del 110% per il passaggio di una classe inferiore di rischio sismico, nel caso di immobile ricadente in zona sismica 1,2,3 (OPCM 3274/2003);
- propensione ad accedere agli incentivi anche per classificazione e verifica sismica degli immobili;
- propensione all'acquisto di un nuovo immobile antisismico grazie alle detrazioni d'imposta per nuovi acquisti antisismici;
- stato di utilizzo delle precedenti opportunità fiscali;
- propensione a modificare alcuni comportamenti in termini migliorativi, investendo denaro in opere di adeguamento o miglioramento sismico del proprio immobile;
- propensione a sostituire il proprio immobile con un immobile più piccolo, ma con prestazioni sismiche ed energetiche superiori tali da comportare un risparmio energetico ed un miglioramento delle condizioni di sicurezza;
- garanzie temporali necessarie a collaborare a piani di riqualificazione urbana che interessano il proprio quartiere.

Selezione del campione e somministrazione del questionario

La fase di somministrazione del questionario è stata preceduta da una serie di incontri didattici, della durata complessiva di 10 ore, con gli studenti della Scuola Secondaria di primo grado Dante Alighieri, situata a nord dell'area indagata. Gli incontri, aventi come oggetto la conoscenza del fenomeno sismico e la valutazione e percezione del rischio sismico nella città di Catania, inseriti nelle attività didattiche corrispondenti ai corsi di Scienze ed Educazione Civica, hanno consentito di sviluppare le competenze

necessarie alla somministrazione del questionario⁶⁹. Gli studenti hanno, quindi, veicolato attraverso la piattaforma *Google Form*, un questionario più articolato alle famiglie. La selezione del campione esprime la connessione con il quartiere per mezzo dell'indicazione della zona di residenza dell'intervistato. Su un totale di 250 questionari restituiti, sono stati selezionati soltanto i questionari i cui rispondenti risiedono nell'area indagata. Il campione è stato scelto in maniera casuale (*random sampling method*) ed è composto da 118 rispondenti, residenti nel quartiere indagato. Il questionario è caratterizzato da una parte introduttiva, in cui viene individuato il problema, il focus del questionario e l'obiettivo che si intende perseguire.

Statistiche descrittive per l'indice di conoscenza ed esperienza del rischio, I_{KE}
Gli indicatori che definiscono l'Indice di conoscenza ed esperienza del rischio sono stati analizzati attraverso statistiche descrittive per avere informazioni sulle performance di ognuno di essi e spiegarne l'importanza nella definizione delle misure di riduzione del rischio ai fini delle politiche di prevenzione sismica.

La Tabella 8.5 riporta il profilo socio-economico del campione selezionato. Il 72% degli intervistati è di genere femminile, a fronte di una presenza di residenti abitualmente insediati appartenenti a questa categoria pari al 56%. L'età maggiormente rappresentata, con il 48% dei rispondenti, è quella compresa tra i 36 e i 50 anni, in linea con la percentuale della popolazione residente pari al 49%, con un'età media di 49,60 anni. Risulta ben rappresentata questa fascia di età, in quanto la somministrazione è stata veicolata dagli studenti della scuola media. Risulta invece sottorappresentata la popolazione over 65 che mediamente nel quartiere si attesta su valori relativamente alti, pari al 30% della popolazione abitualmente insediata (LAC, 2019). La sotto-rappresentazione è dovuta all'utilizzo del mezzo di somministrazione del questionario, generalmente non adottato dagli over 65. La maggior parte dei rispondenti ha raggiunto il secondo ciclo di istruzione superiore, con il 68,6% dei rispondenti in questa categoria. Inoltre il 31% dichiara di svolgere un'attività di libera-professione. Il 77% dei rispondenti è proprietario dell'immobile in cui risiede.

Tabella 8.5 | Descrizione del campione in funzione del genere, età, titolo di studio, occupazione e titolo di utilizzo dell'immobile di residenza.

Description	Value	Unit
Total	118	-
Gender		
Women	72	%
Men	28	%
Age		
18-25 yrs	3.5	%
26-35 yrs	8	%

⁶⁹ Si veda il Report finale riportato in appendice.

36-50 yrs	48	%
51-65 yrs	31.5	%
Over 65 yrs	9	%
Education		
Lower secondary school diploma	6	%
High school diploma	25.4	%
Master degree	68.6	%
Occupation		
Public employee	26	%
Private employee	22	%
Self-employed	31	%
Unemployed	3	%
Student	4	%
Family work	8	%
Retired	6	%
House ownership		
Not homeowners	23	%
Homeowners	77	%

Subjective knowledge: L'analisi descrittiva ha rilevato che solo il 14% dei rispondenti dichiara di avere una conoscenza alta o medio-alta delle caratteristiche di sicurezza sismica del proprio immobile e della sismicità della città di residenza.

Self-efficacy: Il 30% dei rispondenti non adotta misure di prevenzione in termini di certificazione anti-sismica per affitto di immobili e non ha effettuato interventi strutturali in conseguenza di eventi sismici anche di lieve entità.

Hazard experience: Quasi la totalità degli intervistati ha avuto esperienze dirette o indirette con i terremoti e soltanto una percentuale molto ridotta pari al 6% non ha avuto esperienza con i terremoti.

Nature and features of disasters: In media il 48% dei rispondenti dichiara di comprendere le caratteristiche di sismicità della zona di residenza e della possibilità che un evento sismico di elevata magnitudo possa verificarsi nuovamente nella città di Catania. Inoltre comprende le caratteristiche di amplificazione degli effetti del terremoto nei contesti antropizzati (Tabella 8.6).

Tabella 8.6 | Statistiche descrittive degli indicatori di conoscenza ed esperienza del rischio, I_{KE}

Subjective knowledge			
Weights	Classes	Frequency	%
1	Vey high	1	0.8
0.8	High	16	13.5
0.6	Moderate	63	53.5
0.4	Low	21	17.8
0.2	Very low	17	14.4
Self efficacy			
1	Vey high	6	5
0.8	High	26	22
0.6	Moderate	51	43
0.4	Low	16	14

0.2	Very low	19	16
Hazard experience			
1	High	22	18.7
0.5	Moderate	88	74.6
0	Low	8	6.7
Nature and features of disasters			
1	Vey high	42	35.6
0.8	High	15	12.7
0.6	Moderate	30	25.4
0.4	Low	20	17
0.2	Very low	11	9.3

È stato applicato un modello di regressione multipla per accertare i fattori che influenzano l'indice di esperienza e conoscenza del rischio. I risultati della regressione multipla suggeriscono che il modello si adatta bene ai dati inseriti ($F = 13,36$, $p\text{-value} = 0.000$) che consente di affermare che gli indicatori utilizzati sono idonei a spiegare il modello.

In merito alla relazione tra età e I_{KE} esiste una relazione positiva tra le due variabili. I rispondenti sono stati categorizzati in cinque gruppi: 18-25, 26-35, 36-50, 51-65, e sopra i 65 anni. I risultati dimostrano che l'età ha un'influenza positiva sull'indice, certamente condizionata dalle precedenti esperienze con terremoti che hanno colpito la città. Questo implica che le persone anziane avranno valori dell'indice maggiori se rapportati ai rispondenti più giovani. Il livello di istruzione di un individuo può influenzare i fattori di conoscenza ed esperienza del rischio, come evidenziato dalla relazione positiva tra le due variabili nel modello in Tabella 8.7. Anche la condizione occupazionale influenza I_{KE} , ma in maniera inferiore rispetto alle altre variabili.

Tabella 8.7 | Risultati della regressione lineare multipla.

Model	Coefficient B	Std. Error	t-value	p-value
Constant	1.613	0.150	10.728	0.00
Age	0.112	0.028	3.888	0.00
Education	0.128	0.046	2.762	0.01
Occupation	0.064	0.015	4.172	0.00
House ownership	0.130	0.061	2.138	0.03
Model summary	$R^2 = 0.3212$			
ANOVA	$F = 13.36867$		$p\text{-value} = 0.00$	

Spazializzazione degli Indici I_{KE} e I_{IC} .

Ad ogni rispondente viene attribuito un punteggio per l'Indice di conoscenza ed esperienza del rischio (I_{KE}) e di propensione al cambiamento (I_{IC}). L' I_{KE} è calcolato su una scala da 1, molto basso a 4 alto, e l' I_{IC} su una scala da 1 basso a 3 alto. I punteggi sono calcolati secondo le formule 6.4 e 6.5 (v. Cap. 6, par.6.5) e sono di seguito riportati in Tabella 8.8.

Tabella 8.8 | Attribuzione dei punteggi dell'indice di conoscenza ed esperienza del rischio e propensione al cambiamento agli edifici dell'area indagata.

Variables	Code/score
Street	1-13

Building construction date	<1961; ≥1961
Risk perception I_{KE} $I_{KE} = \sum_{i=1}^{18} i_{KE} / 18$	$1 \leq I_{KE} \leq 4$
Inclination to change I_{IC} $I_{IC} = \sum_{i=1}^{11} i_{IC} / 11$	$1 \leq I_{IC} \leq 3$

Il *range* di variazione dell'indice di conoscenza ed esperienza del rischio tra i rispondenti è compreso tra 2 e 3,61. Il 75% dei rispondenti ha un indice di conoscenza ed esperienza del rischio inferiore a 3,30. L'andamento dell' I_{KE} ha distribuzione pseudo-normale. Il *range* di variazione dell'indice di propensione al cambiamento è compreso tra 1,63 e 3,00. Il 75% dei rispondenti ha un indice di propensione al cambiamento che è inferiore a 2,50. Soltanto l'ultimo quartile ha valori superiori a 2,50. L'andamento dell' I_{IC} ha distribuzione pseudo-normale.

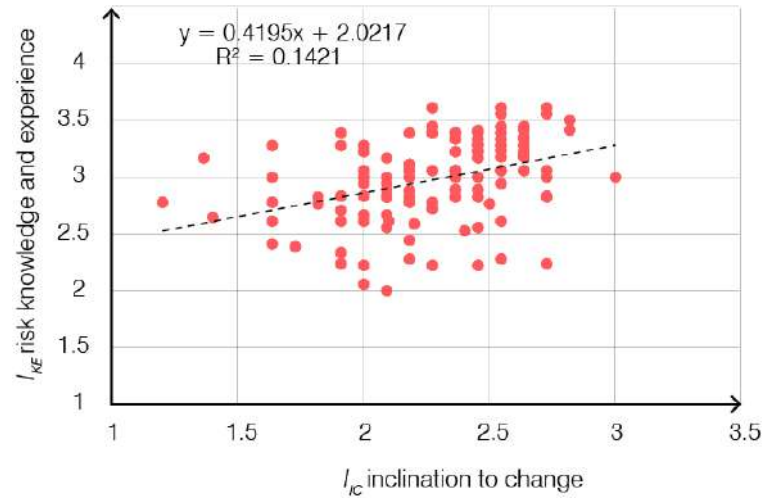
Come reso evidente dalla Figura 8.8 esiste una correlazione positiva tra gli indici, indicata dal valore di $R^2 = 0,1421^{70}$, espressione della maggiore propensione ad attivare atteggiamenti e pratiche migliorative per la sicurezza individuale e collettiva quanto maggiore sarà l'Indice di conoscenza ed esperienza del rischio (Tabella 8.9).

Tabella 8.9 | Correlazione di Pearson tra Indice di conoscenza ed esperienza del rischio e Indice di propensione al cambiamento.

I_{IC}	Correlazione di Pearson	I_{KE}
		0.377
Sign.(a due code)		<0.001
N		118

⁷⁰ Nelle scienze del comportamento, è normale osservare valori di R^2 inferiori al 50%. Questo non significa che il modello di regressione sia errato ma solo che, per sua natura, la variabile dipendente, l'indice di propensione al cambiamento, dipende da tantissimi fattori diversi, molti dei quali non sono stati misurati.

Figura 8.8 | Diagramma di correlazione tra gli Indici di conoscenza ed esperienza del rischio e propensione al cambiamento.



Georeferenziazione

La georeferenziazione dei rispondenti rispetto ad ogni edificio dell'area è avvenuta attraverso l'abbinamento della zona di residenza e la data di costruzione dell'edificio in cui il rispondente risiede (Tabella 8.10). Ad ogni edificio è attribuito il valore medio dell'indice di conoscenza ed esperienza del rischio e propensione al cambiamento della coppia di codifica (*Residence e Construction date*).

Tabella 8.10 | Schema di attribuzione del punteggio in funzione della via di residenza e della data di costruzione dell'edificio.

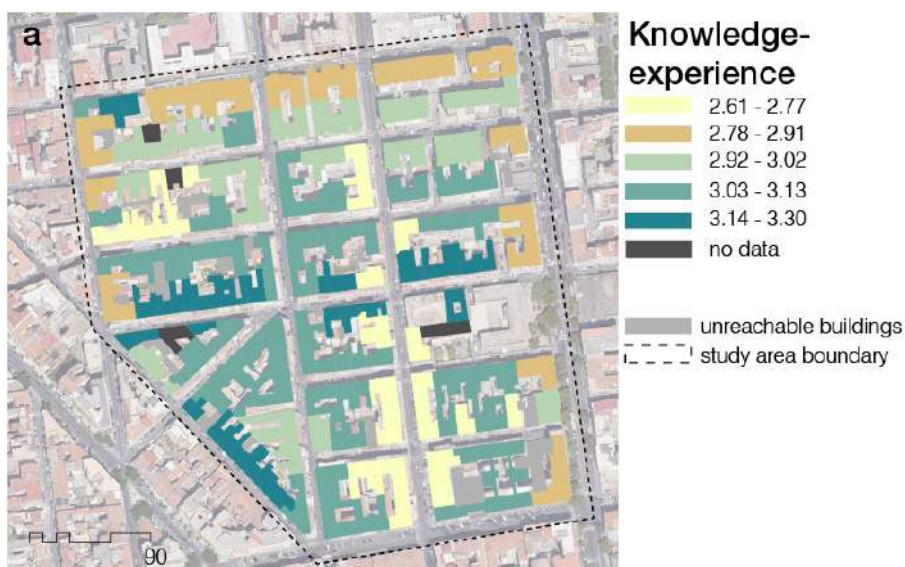
Residence	Code	Construction date	
		<1961	≥1961
Via Tripolitania	1	-	3,05 2,36
Via Aosta	2	-	3,41 2,81 3,38 2,27 3,05 2,54 2,33 1,90
Via Cagliari	3	3,33 2,45 3,27 2,45	2,22 2,45 3,05 2,63 2,82 2,09 3,29 2,45 3,18 2,63 3,18 2,63 3,38 2,36 3,38 2,36 2,76 2,36 2,76 2,5 2,82 2,45 2,27 2,54 2,66 2,00
Via Caserta	4	3,22 2,00 3,05 2,27	2,61 1,63 2,81 1,81 2,52 2,40
Via Dalmazia	5	3,23 2,54	3,41 2,45 3,35 2,63 3,00 2,30 2,82 2,18 3,00 2,54 2,58 2,20
Via D'Annunzio	6	3,16 2,45 2,64 1,4	3,05 2,63 3,27 1,90 2,70 1,90 3,16 1,36
Via Genova	7	2,83 2,36 3,27 2,63 2,22 2,27 2,55 2,09	2,82 2,09 3,05 2,18 3,00 2,00 3,27 2,00 3,23 2,45 3,33 2,54
Via Napoli	8	2,77 2,27 2,77 2,18	3,33 2,63 2,83 2,00 3,61 2,72 3,00 2,45 3,22 2,45 2,23 1,90 3,00 2,00 3,38 2,54 2,00 2,09
Via Scammacca	9	2,61 2,54 2,61 2,00	3,05 2,36 2,88 2,09 2,94 2,00 3,11 2,18 2,61 2,10 2,05 2,00 2,23 2,72

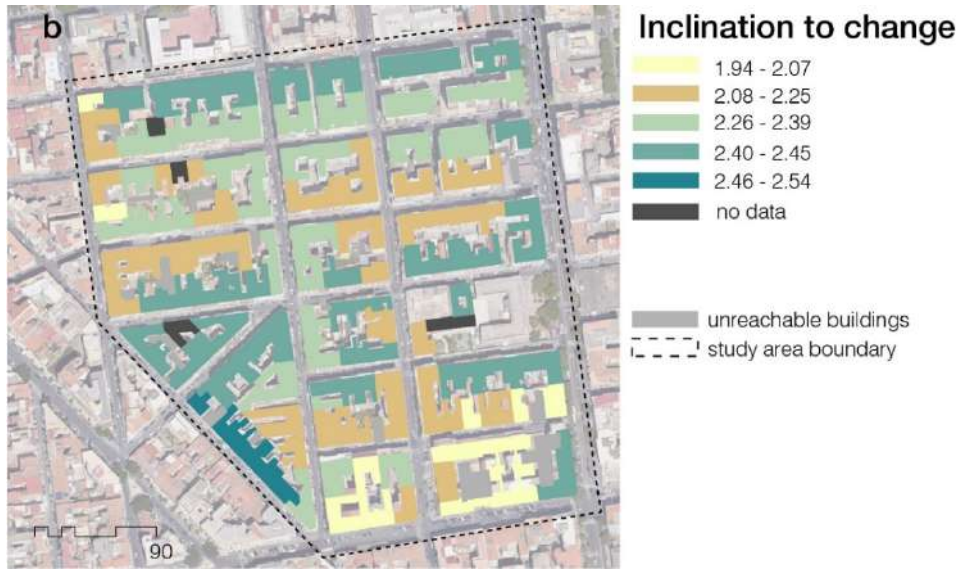
Via Padova	10	2,83 1,90 3,00 2,09 3,38 2,18 2,83 2,72	3,44 2,63 2,94 2,54 3,38 2,45 3,44 2,27 2,38 1,72 3,11 2,18 2,94 2,09 3,00 2,72
Via Vicenza	11	3,27 1,63 3,05 2,72	3,61 2,54 3,55 2,72 3,00 2,18 3,55 2,54 2,27 2,18 2,88 2,45 3,38 1,90 3,33 2,36
Via Orlando	12	3,05 2,18 3,16 2,09 2,77 1,20 3,5 2,81	2,66 2,09 3,27 2,54 3,17 2,63 2,61 1,90 2,76 1,80 3,44 2,54 2,22 2,00 2,82 2,18
Viale Veneto	13	2,83 2,09 3,17 2,54 3,00 1,63 3,22 2,36 2,77 1,60	3,28 2,27 3,61 2,27 3,41 2,63 2,41 1,63 2,88 2,36 2,55 2,45 3,22 2,63 2,44 2,18 3,00 3,00 2,72 2,27 2,72 2,82

Dall'attribuzione ad ogni edificio dei valori ottenuti dalla formula 6.4 e 6.5 (v. Cap.6, par.6.5), viene sviluppata la distribuzione spaziale dell'Indice di conoscenza ed esperienza del rischio e dell'Indice di propensione al cambiamento nell'area indagata, su supporto ArcGIS® (Figura 8.9a e 8.9b). La mappa consente di individuare per singolo edificio i valori medi dell'Indice di conoscenza ed esperienza del rischio, compresi nell'intervallo $2,61 \leq I_{KE} \leq 3,30$ e i valori medi dell'Indice di propensione al cambiamento, compresi nell'intervallo $1,94 \leq I_C \leq 2,54$.

La valutazione percettiva del rischio (R_e , *Risk evaluation*) è sviluppata secondo la formula 6.6 (v. Cap.6, par.6.5) ed i pesi dell'esponentiale della formula sono mantenuti costanti ed equivalenti per entrambi gli indici.

Figura 8.9| Distribuzione spaziale dei due indicatori e attribuzione agli edifici dell'area indagata: a) Conoscenza ed esperienza del rischio; b) Propensione al cambiamento.





8.4 Risultati

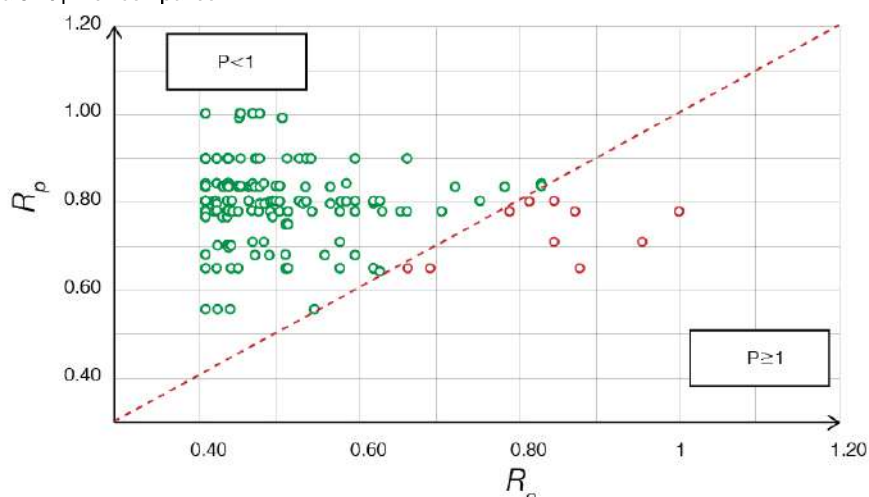
Dall'analisi e valutazione del rischio oggettivo emerge che in nessun caso esiste rischio nullo. L'intero patrimonio edilizio ha un valore minimo di rischio di 0,408, in un intervallo compreso tra 0 e 1.

Nella metodologia adottata, il rapporto tra rischio oggettivo e rischio percepito nel comparto indagato rappresenta la definizione delle *policy* che il *decision-maker* deve adottare. In Figura 8.10 è riportato il rapporto tra il rischio oggettivo e il rischio percepito, per ogni edificio dell'area indagata, secondo la Formula 6.6 (v. Cap.6, par.6.5): nelle ascisse sono indicati i valori di rischio oggettivo di ogni singola osservazione dell'area indagata, e nelle ordinate il relativo valore assunto di rischio percepito.

Nel grafico si individuano due settori principali:

- settore $P \geq 1$: il rischio oggettivo è maggiore della valutazione percettiva del rischio. I valori del *policy index* sono compresi tra 1 e 1,352 (punti rossi al di sotto della bisettrice).
- settore $P < 1$: il rischio oggettivo è inferiore della valutazione percettiva del rischio. In questo caso i valori del *policy index* son compresi tra 0,408 e 1 (punti verdi al di sopra della bisettrice).

Figura 8.10| Risk comparison



I settori della Figura 8.10 individuano le tipologie di *policy* calibrate sulle specifiche condizioni di rischio oggettivo e percepito, volte ad orientare la modalità di somministrazione degli incentivi fiscali per la mitigazione e adeguamento del rischio sismico delle aree indagate e le politiche per l'ampliamento della percezione del rischio. Di seguito vengono illustrate le *policy* adottate per ogni settore.

I settore ($P \geq 1$) – Policy P1

Nel I settore il rapporto tra rischio oggettivo e rischio percepito è maggiore di uno. Questa rappresenta la situazione più critica in quanto la percezione sottostima le reali condizioni di rischio dell'edificio, implicando un disinteresse pubblico nei confronti del rischio sismico a fronte di una reale condizione di pericolo. L'adozione di misure per la riduzione del rischio oggettivo risulta la politica da adottare, insieme con azioni mirate ad aumentare la percezione del rischio. Gli interventi sono di doppia natura: da una parte la riduzione della vulnerabilità sismica caratterizzata da azioni strutturali sull'unità edilizia, dall'altra meccanismi di ampliamento della percezione del rischio attraverso *policy* strutturali di sensibilizzazione della popolazione.

Dal momento che il modello di valutazione del rischio oggettivo è basato sulle componenti di esposizione, vulnerabilità e pericolo, marginali sono gli interventi possibili relativi alla riduzione dell'esposizione e della vulnerabilità socio-demografica (salvo che non si tratti di edifici che per le particolari funzionalità presentino elevati affollamenti, per cui si prevede il declassamento dell'edificio, con trasferimento delle funzioni in strutture più sicure). La riduzione del pericolo, attraverso un'azione sistematica di opere di messa in sicurezza e di miglioramento sismico degli edifici esistenti può invece rappresentare una strategia efficace per la riduzione del rischio.

La riduzione della vulnerabilità può essere perseguita attraverso specifici interventi, finalizzati a rimuovere le criticità (elementi di vulnerabilità) della

costruzione qualora presenti e/o andando ad aumentare la capacità globale della struttura avendo fissato gli obiettivi da raggiungere, in termini di prestazione sismica. Il livello di sicurezza minimo richiesto ad un edificio è stabilito dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) 2018. Tutte le costruzioni realizzate sul territorio si confrontano con questo standard e le costruzioni esistenti possono avere un livello di sicurezza pari a quello previsto dalle norme tecniche per i nuovi edifici, o solitamente inferiore, con riduzioni spesso proporzionali all'età dell'edificio stesso. Assumendo il livello di sicurezza minimo di un edificio progettato con i moderni standard normativi pari a 1, l'edificio esistente avrà un valore di sicurezza compreso tra 0 e 1.

L'obiettivo degli interventi di progetto è quello di innalzare tale livello di sicurezza e seguendo questa logica, le normative classificano gli interventi sulle costruzioni esistenti in tre categorie:

- Interventi di adeguamento, che *permettono di raggiungere il livello di sicurezza di un edificio nuovo (pari o superiore a 1)* previsto dalle norme vigenti;
- Interventi di miglioramento, che *incrementano il livello di sicurezza dell'edificio*, pur mantenendolo al di sotto dell'unità, cioè senza raggiungere quella minima per le nuove costruzioni;
- Riparazioni o interventi locali, che interessano in genere elementi isolati e che comunque comportano un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti localmente.

Nel settore in cui il rischio percepito è basso, affinché determinati interventi di mitigazione del rischio non rimangano alla sola sfera dell'intervento pubblico, è necessario stimolare l'attivazione di processi partecipativi. Affinchè i residenti siano propensi ad attivare meccanismi incentivanti, vengono previste forme di defiscalizzazione quali per esempio:

- abbattimento delle imposte sulla casa;
- prestiti bancari agevolati;
- riduzione dell'IVA;
- eliminazione/riduzione degli oneri di urbanizzazione;
- defiscalizzazione totale o parziale degli interventi di ristrutturazione nel caso di adeguamento del patrimonio edilizio esistente finalizzate alla riduzione del rischio delle parti degli edifici più esposte (modifica degli usi abitativi ai piani terra a favore di usi non abitativi e recupero premiale di SUL in parti degli edifici più sicure ai piani superiori);
- vendita di diritti edificatori;
- previsione di una quota di edificabilità accessoria, che faccia premio sui costi ulteriori di prevenzione sismica;

Le procedure per attivare queste operazioni consistono in:

- intervento pubblico diretto;
- azioni di recupero complesse;

- premialità pubblico-privata (variazione destinazione d'uso urbanistica, trasferimento di cubatura).

L'utilizzo di meccanismi quali forme di premialità e compensazione possono essere utilizzate, a livello procedurale, all'interno di un quadro complessivo di pianificazione orientata alla prevenzione anche in fase di ricostruzione (Di Salvo et al., 2012)

Gli strumenti descritti possono avvalersi del principio dell'esazione fiscale. Ad esempio, la riforma del catasto edilizio consente la trasformazione dei parametri di definizione dei valori immobiliari che costituiscono la base imponibile delle imposte locali sugli immobili e sulle attività. La microzonazione catastale urbana definisce zona per zona il valore degli immobili, definendo di conseguenza l'ammontare delle imposte da pagare. Si può quindi prevedere un aumento delle imposte per quegli edifici che non hanno effettuato lavori di manutenzione ai fini dell'adeguamento e miglioramento sismico, valore che si trascinerà anche al momento della compra-vendita dell'immobile in quanto sarà dotato di certificato di non conformità sismica.

A tal fine è possibile pensare a modulazioni dell'applicazione dell'imposta, sia introducendo aliquote differenziate, sia pensando ad alcune deducibilità d'imposta, al fine di creare gli incentivi necessari all'attuazione di politiche di riduzione del rischio sismico. È possibile prefigurare l'esatto mix di strumenti che le amministrazioni locali potrebbero porre in essere considerando i possibili margini di sovrapposizione fra i vari strumenti utilizzabili, o cross-mix al fine di corroborare la capacità complessiva degli interventi (Fabiatti, 1999). Per le unità edilizie in cui la percezione del rischio è bassa, al fine di attivare i meccanismi sopra descritti, oltre agli incentivi è necessario sensibilizzare la popolazione residente per la partecipazione ai processi di manutenzione ordinari e straordinari ed evitare la dispersione degli incentivi su interventi non necessari.

La correlazione positiva tra rischio percepito e propensione al cambiamento (Figura 8.8) evidenzia che quanto maggiore è il rischio percepito tanto maggiore è la propensione ad adottare misure di mitigazione del rischio, facilitando processi di 'aggiustamento' volontari. La possibilità di attivare i meccanismi sopra descritti necessita di una fase 'formativa'/'informativa' degli attori (i residenti), attraverso processi di partecipazione pubblica alla '*governance dei rischi*' che ha come obiettivo l'implementazione dei livelli di conoscenza acquisita dai residenti ma, allo stesso tempo, restituita alle pubbliche amministrazioni. L'informazione e la comunicazione si pongono come meccanismi complementari, in cui il sapere scientifico e la '*non-standard knowledge*' si sovrappongono per produrre un più ampio *range* di prospettive. La partecipazione ha così potere di indirizzo creando rappresentazioni alternative, portando a sviluppare la percezione dei problemi, aggiungendo problematicità alla questione del rischio, strutturando i problemi in modo collettivo ed interattivo. A tal fine nelle politiche pubbliche

di prevenzione del rischio diventano necessari i metodi di partecipazione, dedotti da esperienze maturate nei paesi del Nord America, già a partire dagli anni '60 (Arnstein, 1969; Castells, 1983; Friedmann, 1987; Gans, 1959; Sanoff, 2000) e in Nord Europa negli anni '80 e '90 (Allegretti, 2015; Bacque et al. 2005; Hatzfeld 2005; Revel et al. 2007; Sintomer e Allegretti, 2009) che facilitando il dibattito pubblico, contribuirono al processo di *decision-making*. Il *policy maker*, attraverso campagne informative e *focus group* periodici facilita e nutre i processi partecipativi (Fischer, 2000), offrendo periodiche opportunità di confronto collettivo, organizzando iniziative di formazione finalizzate all'apprendimento reciproco. L'intervento del *policy maker* ha il ruolo di connessione degli attori coinvolti nella riqualificazione urbana al fine della prevenzione sismica nelle aree più esposte, ampliando i confini della conoscenza del rischio dalla fase preventiva, alla fase di gestione dell'emergenza, e a quella post-emergenziale.

Il settore ($P < 2$) – Policy P2

Nel II settore il rapporto tra rischio oggettivo e percepito è inferiore a 1. Si individuano tuttavia zone in cui il valore è inferiore a uno, a fronte di valori alti sia di rischio oggettivo che percepito, e zone in cui il rapporto è inferiore a uno per valori bassi del rischio percepito e del rischio oggettivo. Quando il rischio percepito è alto, la correlazione positiva tra rischio percepito e propensione al cambiamento comporta una pro-attività rispetto all'inclinazione ad adottare misure di mitigazione del rischio e facilita anche processi volontari di mitigazione da parte dei privati. Questa è la situazione ideale, soprattutto nella misura in cui non esiste, sebbene basso in relazione al rischio percepito, un rischio nullo.

Uno dei problemi maggiori nell'attuazione di interventi di recupero finalizzati alla riduzione del rischio sismico deriva dalla presenza di una struttura proprietaria fortemente frazionata che determina difficoltà di azione. In questo senso la strada da seguire è l'incentivazione degli interventi nelle parti comuni degli edifici. Inoltre, il ricorso e la promozione di forme consortili e di interventi unitari possono essere utili per trattare il tema a livello edilizio: i soggetti che singolarmente o riuniti sono in grado di montare l'operazione a maggiore contenuto di utilità collettiva (in termini di opere o servizi) sono 'premiati' da un contributo economico pubblico. In questo caso si prevede il coinvolgimento dei condomini intesi come unità minima di analisi. Le *Policy P2* consentono l'accesso a detrazioni più alte quando si realizzano interventi su parti comuni di edifici condominiali, finalizzati sia alla riduzione del rischio sismico sia ad altre forme di riqualificazione complementari, quali quella energetica. Gli edifici ricadenti in questo quadrante saranno caratterizzati dal passaggio ad una o più classi sismiche inferiori grazie alla partecipazione al meccanismo in forma condominiale.

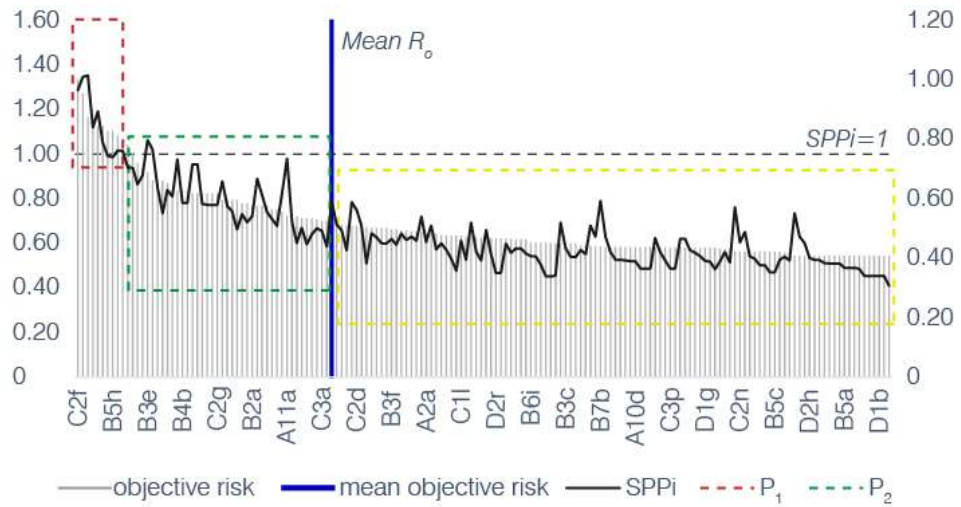
Le *Policy P2*, grazie agli alti valori del rischio percepito, mirano a privilegiare con apposite politiche e meccanismi, quegli interventi operati da più attori,

sul patrimonio edilizio che partano da valutazioni di tipo strutturale piuttosto che dalle singole unità immobiliari, considerando in particolare connessioni strutturali e interrelazioni tra le diverse parti di un edificio o aggregato edilizio. Politiche e meccanismi urbanistici o fiscali potrebbero creare condizioni per ottenere, da ciascun singolo intervento, maggiori benefici collettivi.

Gli accordi che si potrebbero sperimentare potrebbero arrivare alla possibilità di favorire il trasferimento di cubatura, nel caso in cui un'unità immobiliare non sottoposta ad interventi adeguati di recupero fosse riconosciuta come pericolosa per l'aggregato o per la parte di insediamento all'interno del quale è localizzata – se questo si dimostrasse utile o necessario alla riduzione del rischio a scala urbana. Questo tema dovrebbe essere riconsiderato all'interno di un approccio 'strategico', che superi definitivamente quello 'a pioggia', tipico dell'attuale somministrazione degli incentivi.

Il trasferimento di cubatura potrebbe essere inserito nel meccanismo di piano che individui strategicamente le zone di atterraggio delle cubature secondo la logica del *Transfer Development Rights* (TDR) (Calthorpe, 1993). Il TDR è un programma basato su incentivi che permettono ai proprietari di vendere diritti edificatori dalla loro proprietà ad un'impresa, o a qualche altro portatore di interesse che può usarli per aumentare la densità di un'altra zona. Questo programma consente di attivare meccanismi di prevenzione sismica e allo stesso tempo fornisce un ulteriore profitto sia al proprietario sia al nuovo titolare dei diritti edificatori. Ad esempio in un condominio di 6 piani composto da 12 appartamenti, dove sono stati attivate procedure di miglioramento sismico, viene attribuita una quota del 10% di incremento volumetrico per ogni immobile, ma trasferibile e vendibile in zone individuate preventivamente dal piano. Tale meccanismo va supportato da un mercato immobiliare attivo, in cui a fronte del risanamento di zone vulnerabili all'interno dell'area comunale, le cubature vengano trasferite/vendute in comuni in cui possano essere adottate. Questo approccio richiede certamente una strategia di livello sovracomunale come quella dell'area metropolitana.

Il grafico in Figura 8.11 individua il *Seismic policy prevention index (SPP)* (asse y) (v. Cap. 6, par.6.6) in relazione ai livelli di rischio oggettivo decrescente (asse x). L'urgenza dell'intervento politico sull'area urbana è gerarchizzato in funzione delle caratteristiche di vulnerabilità fisica del patrimonio, espresso dal *ranking* dei valori decrescenti di rischio oggettivo sull'asse x del grafico. Il rischio percepito orienta le *policy* da adottare. Alle unità edilizie con i valori più alti del rischio oggettivo, nella parte sinistra del grafico e al di sopra del valore del *Policy index*=1 vengono applicate le *policy P1*, per le unità al di sotto del valore $P=1$ vengono adottate le *policy P2* entro il valore medio del rischio oggettivo R_0 .

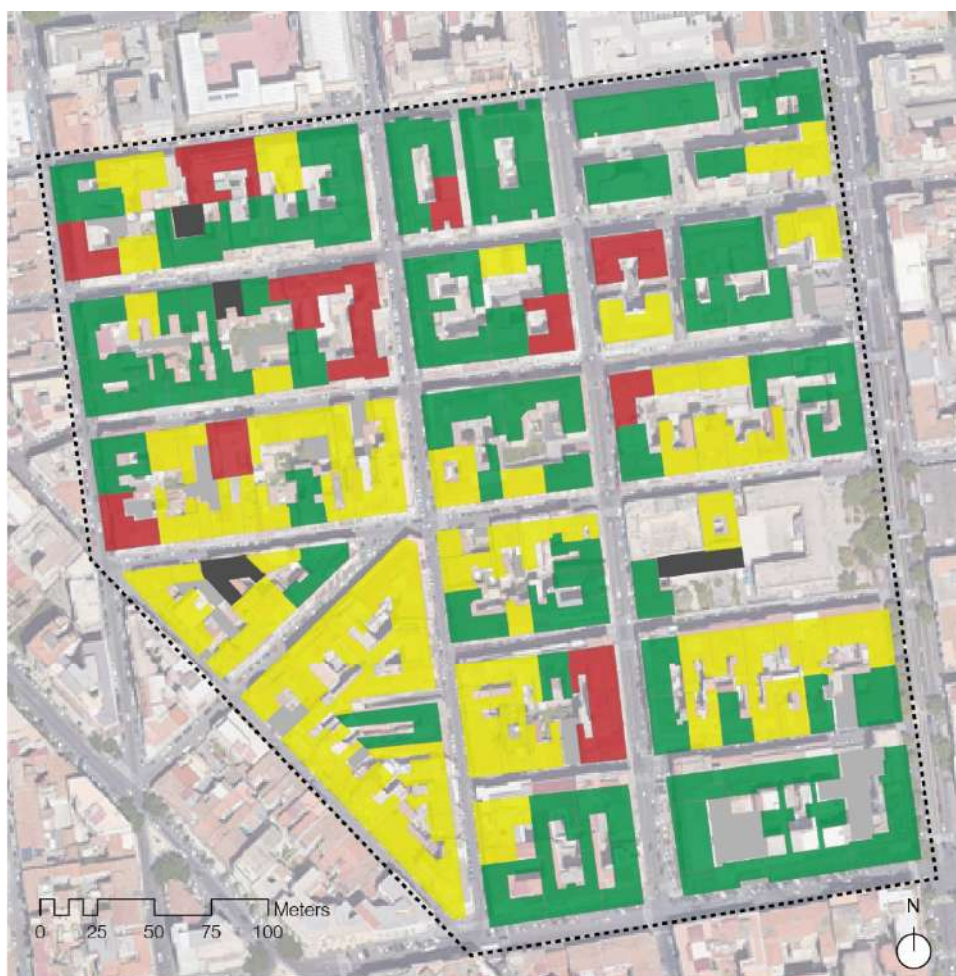
Figura 8.11 | *Seismic policy prevention index*, SPPi in relazione ai livelli di Rischio oggettivo decrescente

La distribuzione spaziale del *Seismic Policy Prevention Index* (SPPi) è riportata in Figura 8.12.

La Figura 8.13 riporta il valore medio del SPPi per ogni area di trasformazione. La formula 6.8 (v. Cap.6, par.6.6) restituisce, infatti, il valore medio dell'area: $0,408 \leq (SPPi)_{AT} \leq 1,352$.

Questo valore rappresenta un indicatore utile nella pianificazione strategica per la prioritizzazione delle misure di gestione dei rischi, nell'Area Metropolitana. I comparti individuati rappresentano una porzione di città all'interno della quale vi è un numero significativo di edifici che consenta un approccio di tipo statistico, attraverso il quale assegnare un valore medio assunto come rappresentativo. Vengono individuate tre classi per l'indice SPP, ed ogni comparto è caratterizzato dal valore medio corrispondente. Le caratteristiche del comparto sono tali da garantire una sorta di riconoscibilità 'urbana' e 'sociale' che non siano solo funzionali alla definizione dell'indice ma abbiano anche ricadute nella pianificazione urbana e nella programmazione amministrativa. Attraverso la definizione dell'indice di rischio si arriva a individuare le parti di tessuto urbano che assumono maggiore centralità nella programmazione dell'amministrazione.

Figura 8.12 | Distribuzione spaziale dell' SPPi, *Seismic Policy Prevention Index*.



Objective Risk/Perceived Risk

- 0.408 - 0.60
- 0.61 - 1
- 1.01 - 1.40
- no data
- unreachable buildings
- study area boundary

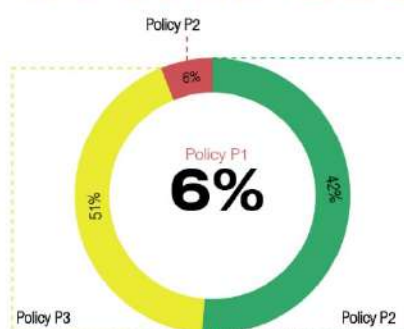
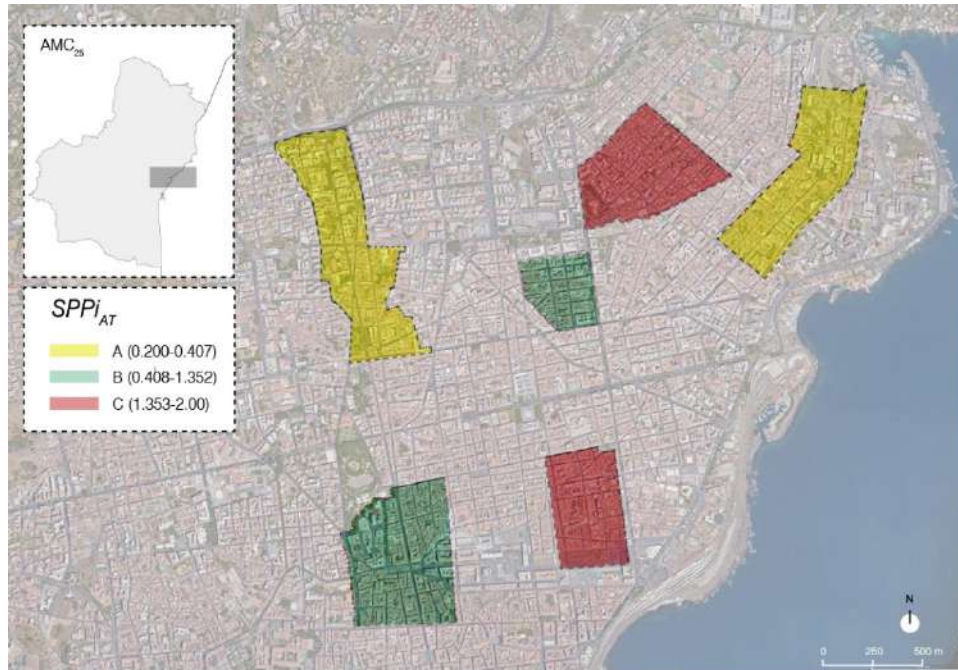


Figura 8.13 | Mappa del SPPi nel conteso urbano di Catania, con indicazione dei tre livelli di rischio, A-B-C.



8.5 Considerazioni

L'approccio sviluppato, grazie all'integrazione della valutazione del rischio percepito da parte dei residenti consente di indagare un altro fondamentale elemento nell'analisi del rischio, necessario a sollecitare approcci partecipativi finalizzati, in prima istanza, a processi volontari di mitigazione del rischio sul singolo appartamento, sul singolo edificio o su aggregati edilizi. Nella proposta metodologica, vengono infatti integrati i consueti approcci 'hard' alla valutazione del rischio con i meno consueti approcci 'soft'. L'approccio 'hard' adopera modelli già largamente sperimentati in letteratura e applica ad un quartiere altamente vulnerabile della città metropolitana di Catania i risultati dell'analisi, delineando una situazione di rischio molto alto per la combinazione dell'alto livello di vulnerabilità fisica del patrimonio edilizio (nonostante la tipologia costruttiva prevalente sia il cemento armato), le caratteristiche di invecchiamento della popolazione che rappresentano un *trend* in costante crescita in tutta l'area Mediterranea e l'elevata densità residenziale, caratteristica propria dei quartieri residenziali che si sono sviluppati a cavallo degli anni Cinquanta e Sessanta, nel periodo in cui i centri storici delle città non erano più in grado di accogliere la crescente domanda abitativa della popolazione.

L'approccio 'soft' adopera modelli ricavati dalle scienze sociali, attraverso l'adozione di strumenti che consentono, al livello locale, di indagare aspetti che gli approcci statistici non permetterebbero di fare emergere. Attraverso, infatti, la somministrazione di questionari strutturati ad un campione di rispondenti che rappresenta i residenti del quartiere indagato, si introducono nell'analisi, aspetti psicologico-percettivi che aggiungono complessità

all'analisi del rischio. Gli indicatori vengono mappati su supporto GIS, indicando in quali parti del territorio sono necessari maggiori interventi di sensibilizzazione e di partecipazione ai processi di definizione delle politiche di mitigazione e riduzione del rischio sismico che coinvolgono direttamente gli intervistati.

L'indice SPPi evidenzia quale peso abbiano il rischio oggettivo e il rischio percepito, consentendo di individuare quali parti dell'ambito indagato vadano potenziati, attraverso le *policy* descritte.

Il *Seismic Policy Prevention Index* è sviluppato sia in ragione del singolo edificio che in relazione al quartiere, considerandone il valore medio. Il metodo consente di individuare i livelli di rischio per ogni edificio e per interi quartieri. Le priorità di intervento sono gerarchizzate in relazione alle aree urbane in cui il rischio percepito è inferiore del rischio oggettivo: questo consente l'adozione di specifiche *policy* orientate secondo un criterio di ampliamento della percezione del rischio.

La metodologia adottata è uno strumento che consente di individuare le aree di conflitto tra percezione pubblica del rischio e rischio fisicamente inteso, tentandone la risoluzione attraverso l'individuazione delle *policy* da implementare per ridurre il divario e favorire l'attuazione degli interventi di prevenzione sismica.

Vengono studiati i vari determinanti della percezione del rischio che possono essere replicati in qualsiasi contesto sismico o soggetto ad altra forma di pericoli.

Sviluppi futuri. Lo sviluppo del lavoro prevede di concentrarsi su indagini face-to-face, su seminari e programmi a livello locale che rendano le persone consapevoli della sismicità dell'area in cui vivono e delle misure di prevenzione necessarie. A tal fine la percezione del rischio può essere ampliata attraverso la definizione di una rete di realtà di quartiere in cui vengano istituiti osservatori permanenti di partecipazione territoriale come strumento operativo di interazione tra decisori politici, soggetti pubblici e privati operanti nei contesti di riferimento per sondare le osservazioni locali, individuare e monitorare problemi ed esigenze e definire soluzioni operative nelle fasi di prevenzione, mitigazione e gestione delle situazioni di emergenza.

Riferimenti bibliografici

Allegretti U. (a cura di) (2015), *Democrazia partecipativa. Esperienze e prospettive in Italia e in Europa*, Firenze, Firenze University Press.

Arnstein S.R. (1969), A ladder of citizen participation, In *Journal of American Institute of Planners*, pp. 216-224.

Bacque M.H., H. Rey, Y. Sintomer (Eds.) (2005), *Gestion de proximité et démocratie participative. Une perspective comparative*, La Decouverte, Paris.

Calthorpe P. (1993), *The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream*, Princeton Architectural Press, Princeton.

Campo G. (2004), La valutazione del rischio sismico, In *L'architettura. Cronaca e storia*, a.L., n.581.

Castells M. (1983), *The City and the Grassroots*, Berkeley: University of California Press.

Dato G. (1983), *La città di Catania. Forma e struttura 1693-1833*, Officina Edizioni, Roma.

Di Salvo G., M. Giuffré, P. Pellegrino B. Pizzo (2012), Prevenzione e ricostruzione per la riduzione del rischio sismico, In *Planum. The Journal of Urbanism* n.25 vol.2.

Fabietti W. (1999), *Vulnerabilità e trasformazione dello spazio urbano*, Alinea, Firenze.

Fischer F. (2000), *Citizens, Experts, and the Environment*, The politics of local knowledge, Duke University Press, Durham and London.

Friedmann J. (1987), *Planning in the Public Domain: From Knowledge to Action*, Princeton, Princeton University Press.

Gans H.J. (1959), The human implications of current redevelopment and relocation planning, In *Journal of the American Institute of Planners*, Vol. XXV pp. 15-26.

Hatzfeld H. (2005), *Faire de la politique autrement: Les expériences inachevées des années 1970*, Presses Universitaires de Rennes, Rennes.

Revel M., C.Blatrix, L.Blondiaux, J.M. Fourniau, B.Hériard Dubreuil, R. Lefebvre (Eds.) (2007), *Le débat public: une expérience française de démocratie participative*, La Découverte, Paris.

Sanoff H. (2000), Community Participation Methods in Design and Planning in *Landscape and Urban Planning* 50(4).

Sintomer Y., G.Allegretti (2009), *I bilanci partecipativi in Europa. Nuove esperienze democratiche nel nuovo continente*, Ediesse, Roma.

Riferimenti normativi

Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche

Decreto Ministeriale 23 settembre 1981, Aggiornamento delle zone sismiche in Sicilia (ai sensi e per gli effetti della L 64/1974)

Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996, Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri 20 marzo 2003, n. 3274, Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Decreto 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.

Conclusioni e sviluppi futuri

Il concetto di rischio urbano è entrato in maniera dirompente nel discorso scientifico internazionale, anche testimoniato dalla vastissima produzione scientifica sul tema. Questa dirompenza ha colpito anche il linguaggio comune rilevando come sia indispensabile oggi controllare i risultati possibili delle decisioni che possono comportare conseguenze negative sull'uomo e sull'ambiente che abita.

Il settore votato all'organizzazione della corretta interazione tra attività umane e territorio su cui esse sono svolte è la pianificazione territoriale che si pone, tra gli altri, l'obiettivo imprescindibile di assicurare che i processi di trasformazione siano compatibili con la sicurezza e la tutela dell'integrità fisica e con l'identità culturale del territorio.

La coscienza e consapevolezza sociale dei rischi costituisce un aspetto molto importante della società moderna, da cui a sua volta derivano nuove modalità di reazione nei confronti del pericolo. Una conseguenza importante di questa nuova coscienza è di costringere le parti sociali interessate a dibattere in modo pubblico di argomenti e temi che prima erano trattati a porte chiuse. Tuttavia il dibattito aperto e generalizzato sui rischi non si verifica certamente in nessun contesto sociale, anche nelle società sviluppate dell'occidente, in cui la discussione aperta e democratica sui fattori di pericolo e sulle alternative decisionali a loro riguardo fanno parte dei criteri di indirizzo politico. Emerge che la mobilitazione contro i rischi si attua solo quando vengono coinvolti da vicino ambiti di vita quotidiana di individui o gruppi sociali e dunque il loro contesto locale. Da questa considerazione si può dedurre che la dimensione spaziale della società del rischio è sia di carattere globale, ma anche di carattere locale (Mela et al., 2003).

Molte forme di rischio potrebbero essere fronteggiate anche attraverso una contemporanea modificazione di abitudini e comportamenti da parte di quote rilevanti di popolazione, attraverso il semplice effetto emulativo (come l'adozione di incentivi per la sicurezza sismica, l'efficientamento energetico, la riduzione dell'inquinamento, dell'edilizia abusiva). Spesso coloro che sono ragionevolmente convinti dell'opportunità di adottare comportamenti virtuosi agiscono come volano per gli interventi di altri, rendendo così effettivo il beneficio collettivo.

Risulta evidente che la prevenzione non è più vista come compito precipuo dello stato nazionale, come un intervento che discende 'dall'alto' (generalmente dopo il danno), ma come parte dell'azione sinergica tanto degli amministratori quanto dei privati (Fabietti, 1999). Per una corretta gestione del territorio è fondamentale passare attraverso la consapevolezza della collettività nei confronti di fenomeni che non sono da considerarsi come

eccezionali ma di carattere ordinario legati ai luoghi della quotidianità (Mastinu et al., 2017).

La consapevolezza nei confronti dei fenomeni va, in ogni caso, sostenuta da una corretta comunicazione delle informazioni a disposizione e la rappresentazione spaziale della distribuzione dei possibili scenari di rischio rappresenta un primo passaggio per l'ampliamento dei confini cognitivi della collettività. Da sola tuttavia la conoscenza del problema, sia dal punto di vista fisico che dal punto di vista sociale, non basta a sviluppare ed accettare le necessarie politiche di prevenzione. L'analisi del rischio allora si deve dotare di un quadro più ampio di conoscenza, in cui convergano istanze proprie delle scienze sociali, l'inosservanza delle quali costituisce il principale motivo del fallimento delle politiche di prevenzione. Le istanze sociali cui si fa riferimento nel presente lavoro contemplano la percezione del rischio come uno dei criteri di base su cui fondare le scelte politiche, difficilmente apprezzabili in termini di benefici immediati, ma necessarie nel lungo termine per la prevenzione dei rischi.

Il lavoro di ricerca si concentra su questo doppio canale: da una parte la rappresentazione cartografica, attraverso mappature in ambiente GIS, delle conseguenze del danno causato su edifici e persone di eventi sismici (alla scala territoriale), ai fini di una efficace e intuitiva comunicazione del rischio, da spendere tra soggetti istituzionali e non; dall'altra, seguendo il metodo dei sociologi con un approccio alla scala locale, si individuano le aree di conflitto tra percezione pubblica del rischio e rischio fisicamente basato, percorrendo, per la prima volta con indirizzo operativo, le *policy* da implementare per ridurre il divario e favorire l'attuazione degli interventi di prevenzione sismica.

L'indagine alla scala metropolitana. Sviluppi futuri.

La sovrapposizione del Rischio socio-demografico e del Rischio-fisico rappresenta una chiave di lettura per definire come l'interazione di questi fenomeni contribuisca in maniera sostanziale all'individuazione delle zone a maggiore rischio. Questo anche ai fini di individuare le aree più critiche e, quindi, le priorità di intervento urbanistico, sviluppando una classificazione delle aree urbane che tenga conto tanto dell'edificato (materiali di costruzione, stato di conservazione, epoca di realizzazione da abbinare a modelli di pericolosità sismica), quanto della componente sociale, per determinare con maggior dettaglio i livelli di rischio associato al verificarsi di possibili eventi sismici. La sovrapposizione di questi livelli informativi, aggiornabili in quanto indipendenti, potrà essere di supporto alla definizione di efficaci procedure di pianificazione e gestione territoriale, oltre a fornire strumenti per la definizione di efficaci piani di emergenza.

L'utilizzo della modellazione ad agenti per la simulazione degli eventi sismici può essere ulteriormente ampliata attraverso l'adozione di database che coinvolgano rilevanti caratteri del territorio, come il sistema delle infrastrutture

e delle funzioni urbane che rivestono un ruolo strategico all'interno della struttura urbana caratterizzata dal sistema dei percorsi, sistema delle funzioni urbane, sistema degli spazi di relazione, sistema delle reti e delle attrezzature tecnologiche.

Lo strumento proposto andrebbe inserito nella fase di pianificazione territoriale per caratterizzare gli interventi strategici sul territorio sulla base del rischio.

Ai fini di una esaustiva interpretazione di tali caratteristiche sociali è opportuno effettuare delle verifiche tramite indagini campionarie che consentano il duplice effetto di confermare (o meno) le ipotesi effettuate da indagine statistica e coinvolgere in ogni fase di verifica gli *stakeholders*.

Per esempio, zone urbane in cui è dominante la presenza di anziani richiederebbero interventi orientati a ridurre le difficoltà di mobilità degli utenti; uno specifico intervento in questa direzione potrebbe facilitare l'evacuazione in caso di sisma. Oppure facilitare politiche di diversificazione socio-demografica, come l'adozione di canoni agevolati, in aree principalmente abitate da popolazione anziana, per i giovani in cerca di primo alloggio, che limiterebbe l'isolamento dei più anziani, e contemporaneamente rallenterebbe il processo di abbandono di alcuni quartieri centrali, per la ricerca di modelli abitativi differenti nelle zone dei comuni contermini al capoluogo.

In ogni fase di formazione dell'indice composito va inserita formalmente la partecipazione sia degli esperti (sociologi del territorio, demografi, urbanisti) sia degli *stakeholders* per la verifica degli assunti teorici sviluppati e la successiva selezione degli indicatori più appropriati nella definizione del fenomeno nel territorio indagato.

L'analisi, alla scala metropolitana, consente di identificare la polarizzazione dell'indice di vulnerabilità socio-demografica e definire politiche e programmi di intervento comuni su gruppi con caratteristiche omogenee di vulnerabilità. La rappresentazione di vari indicatori di vulnerabilità evidenzia i differenti requisiti dei gruppi vulnerabili, che richiedono trattamenti e risposte differenziati ai fini di una efficace strategia di mitigazione dei rischi. Ciò può essere ulteriormente indagato attraverso un approccio partecipativo di tipo *bottom-up* per valutare e verificare la vulnerabilità sociale, coinvolgendo le parti interessate. L'approccio *bottom-up* può essere inoltre d'aiuto nel comprendere le cause della vulnerabilità e l'efficacia di alcune misure per ridurla, oltre all'indispensabile contributo della comunità locale nell'individuazione degli elementi di vulnerabilità e di strategie condivise.

L'indagine alla scala locale. Sviluppi futuri

La proposta metodologica integra i consueti approcci 'hard' alla valutazione del rischio con i meno consueti approcci 'soft', per uno sviluppo sinergico delle due facce dell'analisi e con una traduzione operativa di politiche.

La percezione del rischio diventa un elemento analitico-conoscitivo come lo sono la vulnerabilità fisico-sociale e i parametri di esposizione e pericolosità sismica. Infatti caratterizza un primo passaggio, fondamentale, nell'auspicato processo partecipativo della collettività e consente uno scambio di informazioni con i fruitori della città. La metodologia proposta ha studiato i vari determinanti della percezione del rischio che possono essere replicati in qualsiasi contesto soggetto a pericolo sismico o ad altri pericoli naturali.

Per sviluppare ulteriormente la ricerca è auspicabile effettuare microzonazioni precise così da avere il pericolo e non parametrizzare la vulnerabilità, introdurre forme sistemiche di vulnerabilità associate al comportamento in aggregato degli edifici, definire forme urbane di vulnerabilità che caratterizzano la struttura urbana minima, e sviluppare oltre a questionari e focus group, una rete sinergica di *stakeholders* attraverso la quale monitorare lo status della città, fornire idee e strumenti di valutazione della vulnerabilità dei residenti, condividere e scambiare informazione con le amministrazioni.

Lo sviluppo del lavoro prevede di concentrarsi su indagini face-to-face, su seminari e programmi a livello locale che rendano le persone consapevoli della sismicità dell'area in cui vivono e delle misure di prevenzione necessarie.

Un modello ad agenti consente un'ulteriore esplorazione delle politiche introdotte. Infatti uno degli aspetti più complicati nella pianificazione delle politiche da introdurre nella pianificazione urbanistica risiede nella loro accettabilità. Le *policy* individuate possono diventare contemporaneamente luogo di scontro tra parti coinvolte, soggetti pubblici e privati, causa della loro inapplicabilità. Un modello ad agenti permette una valutazione *ex-ante* delle politiche proposte comprendendo anticipatamente l'impatto potenziale delle alternative introdotte, al fine di supportare, da una parte, un processo partecipativo degli attori coinvolti, e dall'altra prevedere la reazione degli *stakeholders* rispetto alle nuove proposte e i risultati attesi per mezzo di un processo di interazione degli attori, con un processo che punta alla costruzione del consenso. Ovvero, al fine di testare l'accettabilità di un pacchetto di *policy* è necessario modellare il comportamento di interazione degli *stakeholders*.

Molti sono gli strumenti di supporto al processo di *decision-making* per gli *stakeholders*, alcuni per la fase di consultazione e partecipazione (focus-group, multicriteria decision making methods, geographic information system e discrete choice model), altri (social network analysis e agent-based analysis) servono a fornire supporto per l'analisi degli *stakeholders* stessi e per la previsione delle loro scelte e preferenze, al fine di arrivare a costruire il consenso.

I modelli ad agenti sono di solito utilizzati per riprodurre la complessità dei sistemi sociali, dove agenti autonomi e intelligenti agiscono e interagiscono tra di loro e con l'ambiente circostante (Macal e North, 2010). Come è noto, una delle caratteristiche principali è l'emergenza di fenomeni collettivi non facilmente prevedibili dalle semplici regole comportamentali dei singoli agenti. Nel campo della costruzione del consenso rispetto a determinate politiche, gli ABM sono idonei a riprodurre le interazioni dinamiche che si verificano all'interno della comunità di *stakeholders* i quali sono collegati in una rete sociale e cooperano al fine di trovare una convergenza di opinioni verso una soluzione condivisa (Le Pira et al., 2017). Gli agenti vengono caratterizzati da opinioni (opinion dynamics model) e da regole comportamentali interattive che mirano alla costruzione del consenso. L'output delle simulazioni può essere utilizzato per comprendere quali siano le condizioni favorevoli per la convergenza di opinioni tra gli *stakeholders* e quali siano le politiche da considerare come migliori candidate perché siano accettate più facilmente dalle parti coinvolte.

La valutazione degli effetti simulati delle politiche può essere adottata per negoziare gli strumenti necessari o correggere e affinare le politiche inserite in modo da raggiungere uno scenario che soddisfi la maggior parte possibile degli *stakeholders* coinvolti.

Riferimenti bibliografici

Fabietti W. (1999), *Vulnerabilità e trasformazione dello spazio urbano*, Alinea, Firenze.

Le Pira M., M. Ignaccolo, G. Inturri, A. Pluchino, A. Rapisarda (2017), Finding shared decisions in stakeholder networks: an agent-based approach, In *Physica A: Stat Mech Appl* 466:277–287.

Macal C.M., M.J. North (2010), Tutorial on Agent-Based Modelling and Simulation, In *Journal of Simulation*, Vol. 4, No. 3, 2010, pp. 151-162. doi:10.1057/jos.2010.3

Mastinu M., Plaisant A., Sini D. (2017), La partecipazione nella prevenzione e gestione del rischio per l'organizzazione e lo sviluppo delle comunità locali: la costruzione di un sistema di osservatori di partecipazione territoriale, In *Atti della XIX Conferenza Nazionale SIU Cambiamenti. Responsabilità e strumenti per l'urbanistica al servizio del paese*, Planum Publisher ISBN 9788899237080.

Mela A., Belloni M.C., Davico L. (2003), *Sociologia e progettazione del territorio*, Carocci Editore, Roma.

APPENDICE

Report questionario studenti

Questionario sulla valutazione e percezione del rischio sismico presso l'Istituto scolastico Dante Alighieri, Catania.

Obiettivo

Strumento fondamentale per raccogliere informazioni sul grado di conoscenza e percezione relativo ai fenomeni di rischio sismico individuale è il questionario. L'obiettivo del questionario è individuare il livello di conoscenza e percezione del fenomeno sismico, in un contesto come quello della città di Catania fortemente esposto al rischio di terremoti. Il questionario è rivolto alla popolazione scolastica delle terze medie, con l'obiettivo di incidere sul processo formativo e culturale delle generazioni che abiteranno con consapevolezza le città del futuro. Esso vuole essere un'occasione affinché ciascuno possa esprimere le proprie impressioni e riflessioni e raccogliere contributi utili al fine di intervenire sulle criticità, inserendole in un programma di azioni urbane strategiche, il cui motore principale risiede nella propensione al cambiamento di tutti i soggetti sociali coinvolti.

Struttura del questionario e campione

Il questionario è stato somministrato all'ultimo ciclo della scuola secondaria di primo grado Dante Alighieri, in Via Cagliari 49 ad un campione di 200 studenti, ugualmente distribuito tra maschi e femmine (Figura 1). La scelta della Dante Alighieri è stata motivata dalla sua collocazione all'interno di un tessuto urbano prevalentemente costruito tra la fine degli anni '50 e la prima metà degli anni '60. In questa fase storica, quando la città conosceva un notevole processo di crescita urbana, non esistevano misure di prevenzione sismica, successivamente introdotte dalla L.N. 64/1974. Inoltre la zona in cui si inserisce la scuola è caratterizzata da un'elevata densità abitativa. Si sovrappongono dunque diversi fattori di vulnerabilità: edilizia residenziale priva di misure di tutela sismica, l'elevata densità abitativa, la totale assenza di spazi aperti, e la presenza di istituti di istruzione obbligatoria.

Il campione rappresenta una quota pari all'80% dell'intera popolazione studentesca delle terze medie dell'Istituto (249 studenti), e un campione pari al 6% dell'intera popolazione scolastica di Catania per la stessa fascia di età, ovvero 3097 individui (1 gennaio 2020, demoistat.it). Il questionario è suddiviso in 24 domande. Le prime sette sono di carattere generale, relative all'età, genere, sezione e zona di residenza del rispondente.

Le domande otto e nove sono relative alle caratteristiche tipologiche dell'immobile di residenza e allo stato di manutenzione dello stesso. La domanda dieci è relativa alla conoscenza di eventi sismici storici che hanno colpito la città di Catania. La domanda undici verifica la consapevolezza del livello di sicurezza sismica dell'immobile di residenza e la domanda successiva (dodici) mira a individuare la fonte delle informazioni della precedente domanda. La domanda tredici mira a conoscere se l'immobile di residenza del rispondente ha riportato danni in conseguenza di eventi sismici passati. La domanda quattordici è la conoscenza della sismicità della città di

Catania. La successiva è la consapevolezza del terremoto come fenomeno rischioso. La domanda quindici mira a conoscere il livello di conoscenza del rispondente in merito alle origini del terremoto, ovvero se la sua causa sia il vulcano Etna o meno. La domanda successiva riguarda la percezione del rischio sismico conseguente all'ultimo terremoto che ha colpito l'area Etnea (26 dicembre 2018). La domanda diciassette indaga la comprensione della gestibilità del terremoto, ovvero se, in quanto fenomeno naturale, si possa agire sulle conseguenze da esso causate oppure, essendo imprevedibile la sua gestione è impossibile. La domanda diciotto indaga il sentimento di preoccupazione rispetto a futuri terremoti. Le domande diciannove, venti e ventuno interrogano i rispondenti sulle aree di attesa in caso di evento sismico, chiedendo di specificare la loro collocazione geografica rispetto alla propria residenza e alla scuola. Le domande ventidue e ventitré interrogano i rispondenti sul ruolo della scuola rispetto ad attività utili ad informare gli studenti sul pericolo sismico. Ed infine la domanda ventiquattro interroga gli studenti sugli strumenti che la scuola fornisce per affrontare l'emergenza sismica.

Modalità di somministrazione

La somministrazione del questionario è avvenuta per via digitale, attraverso la piattaforma *Google Form*, applicazione di Google. La somministrazione è stata preceduta da un momento di formazione didattica, svoltasi durante le ore dei corsi di Scienza, Educazione Tecnica ed Educazione Civica. La Tabella 1 riporta i dieci docenti delle terze medie che hanno partecipato al progetto e i rispondenti per ciascuna classe.

I contenuti trasmessi agli studenti hanno riguardato le caratteristiche dei terremoti, a partire dal movimento delle placche terrestri fino alla definizione del concetto di rischio e delle variabili necessarie a definirlo, quali vulnerabilità, esposizione e pericolo. Nel corso delle ore di formazione sono stati introdotti possibili scenari di miglioramento delle caratteristiche del quartiere nel quale gli studenti risiedono, con introduzione di infrastrutture verdi e predisposizione di spazi pubblici, come utili meccanismi dal duplice risvolto di prevenzione-sicurezza sismica e di miglioramento estetico-ambientale.

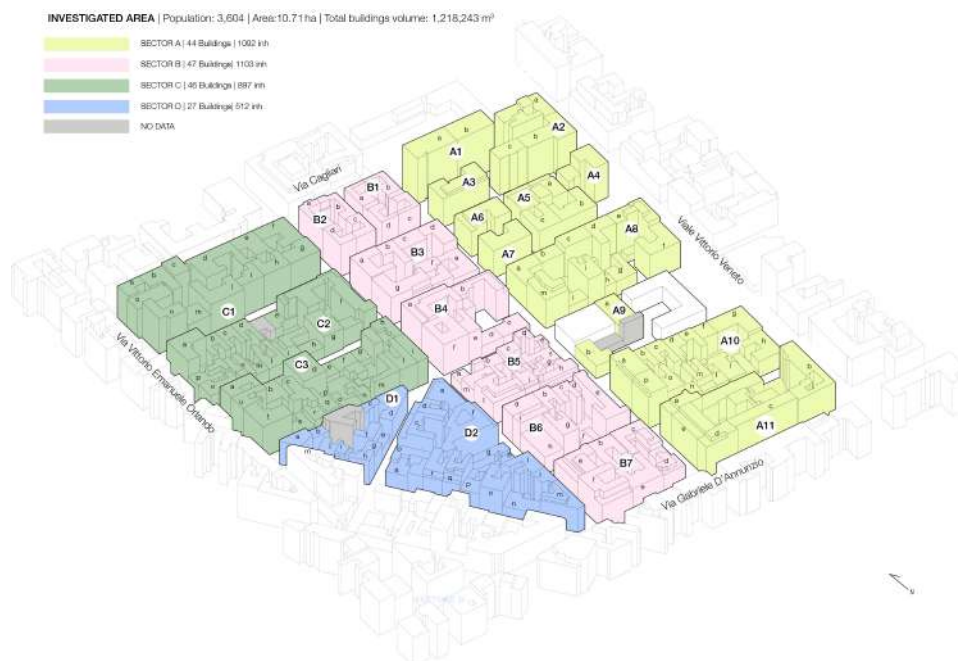
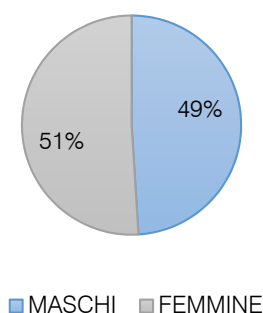


Tabella 1 | Classi e docenti partecipanti al progetto e numero di rispondenti per ogni sezione.

<i>Sezione</i>	<i>Docente</i>	<i>Modalità di somministrazione</i>	<i>Data di somministrazione</i>	<i>Rispondenti</i>	<i>N. studenti per classe</i>
3 A	Prof.ssa Caltagirone	in remoto	12/01/2021 09:00	12	24
3 B	Prof.ssa Russo	in presenza	14/12/2021 10:00	25	28
3 C	Prof. Maiolino	in remoto	12/01/2021 13:00	20	27
3 D	Prof.ssa Lanza	in presenza	14/12/2021 11:00	26	28
3 E	Prof.ssa De Pasquale	in presenza	14/12/2021 12:00	21	27
3 F	Prof.ssa Longo	in remoto	15/01/2021 11:00	21	26
3 G	Prof.ssa Lipani	in presenza	14/12/2021 13:00	13	20
3 H	Prof. Nicolosi	in remoto	21/12/2021 08:30	20	22
3 I	Prof.ssa Puzzo	in remoto	15/01/2021 10:00	23	25
3 L	Prof.ssa Patti	in remoto	18/12/2021 08:00	19	22
Totale				200	249

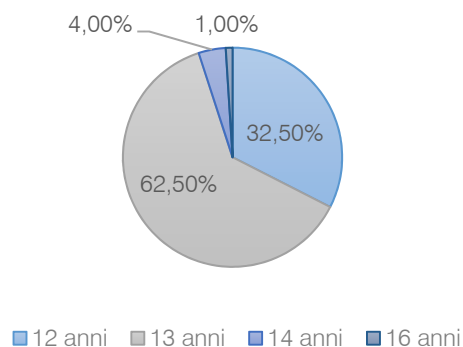
Risultati

Figura 2| Ripartizione di genere tra i rispondenti al questionario.



L'età del campione, per il 63% comprende studenti di 13 anni ovvero l'età media di chi frequenta l'ultimo anno della scuola secondaria di primo grado (Figura 2).

Figura 3| Età media dei rispondenti.



Attraverso il questionario, per prima cosa, si è indagata la tipologia di alloggio in cui risiedono i rispondenti e lo stato di conservazione. Dai grafici a torta (Figura 3) si nota che la maggioranza dei rispondenti vive in appartamento condominiale, tipologia di abitazione più diffusa nel contesto urbano in cui è inserita la scuola media. La Figura 4 mostra invece la percezione degli studenti sullo stato di conservazione della loro abitazione: il 65,7% degli intervistati sostiene di vivere in un edificio in buono stato di conservazione, mentre percentuali del 15% ritengono lo stato dell'immobile ottimo e sufficiente. Il 3,4 % mediocre.

Figura 3| Tipologia di alloggio (198 rispondenti/200)

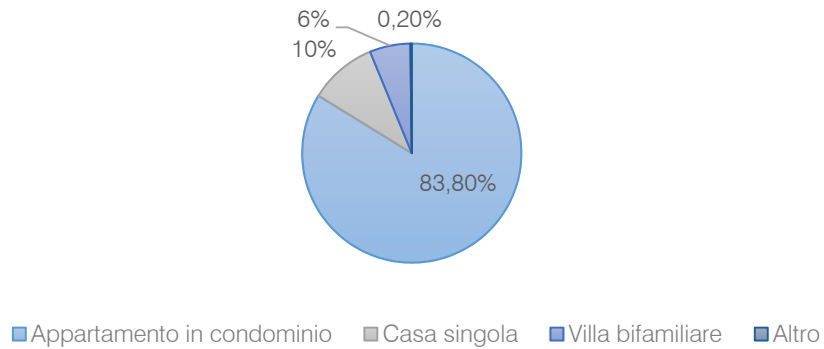
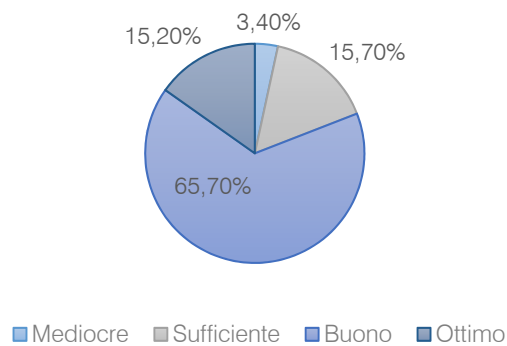


Figura 4| Stato di conservazione dell'abitazione di residenza (198 rispondenti/200).



Gli studenti sono stati interrogati sulla vulnerabilità sismica del proprio edificio. Nella Figura 5, il 73% del campione ritiene che la propria casa sia sismicamente sicura e, tra questi l'85,4% ha ricevuto questa informazione dai propri genitori contro il 15,5 % che sostiene che l'edificio sia solido al solo vedersi (Figura 6). Inoltre è stato chiesto agli studenti se il proprio edificio ha riportato qualche danno, anche lieve, a causa degli ultimi eventi sismici che hanno colpito l'area etnea. L'84,5 % degli intervistati ha risposto in maniera negativa (Figura 7).

Figura 5| Sai se la tua casa è sismicamente sicura? (200 rispondenti/200)

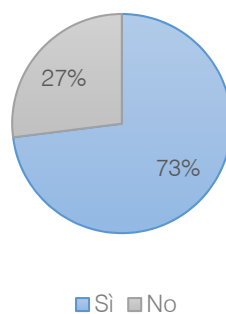


Figura 6 | Se sì, da chi hai avuto questa informazione? (193 rispondenti/200)

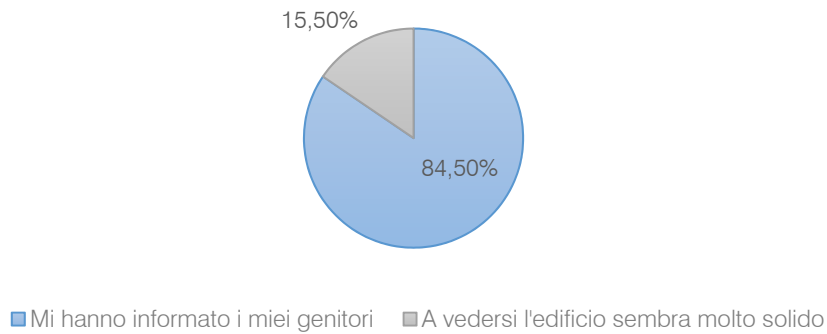
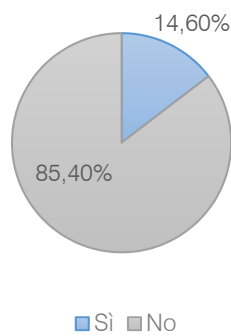


Figura 7 | La tua casa ha riportato danni causati da eventi sismici anche lievi (crepe)? (198 rispondenti/200)



I grafici seguenti interrogano gli studenti in merito al rischio sismico della città di Catania. Nella Figura 8, la maggioranza degli intervistati (95%) è consapevole del fatto che Catania si trovi in zona sismica. Nella Figura 9, si riporta il grafico sulla percezione del terremoto come rischio futuro. La percentuale di chi ha risposto positivamente si alza leggermente al 97%, cioè quasi la totalità degli intervistati. Nella Figura 10, il 60,5% degli studenti pensa che i terremoti siano causati dal Vulcano Etna.

Figura 8 | Sai se la città di Catania si trova in zona sismica? (189 rispondenti/200)

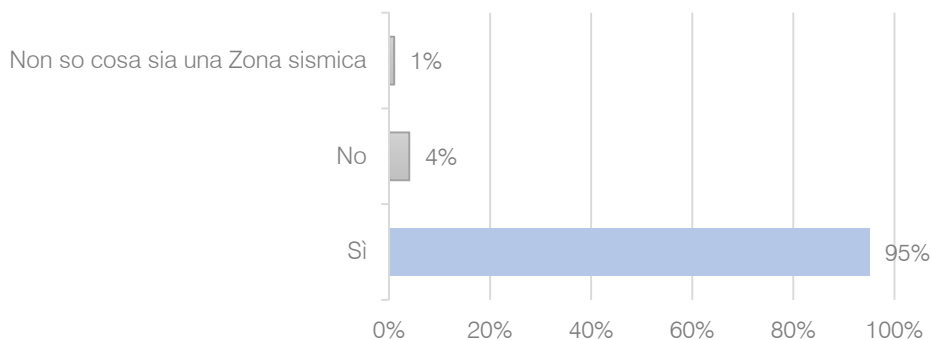


Figura 9| Pensi che il terremoto sia un rischio? (194 rispondenti/200)

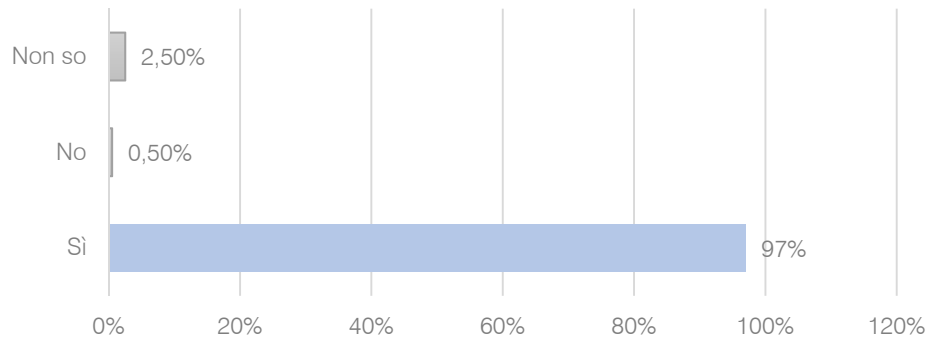
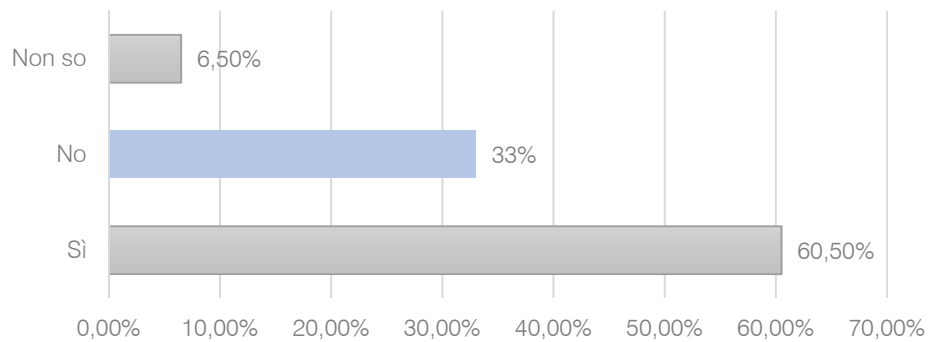
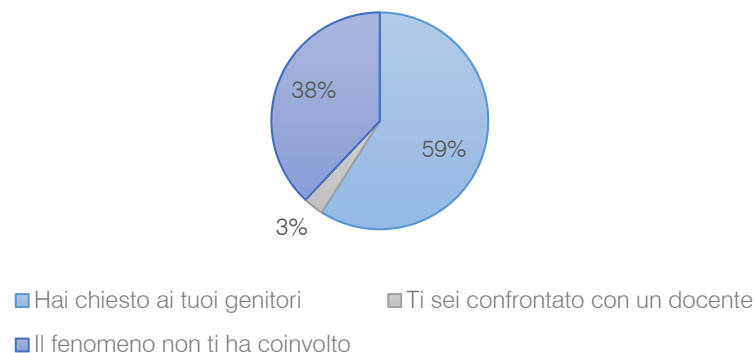


Figura 10| Pensi che i terremoti siano causati dal vulcano Etna? (66 rispondenti/200)



Nella Figura 11, il campione degli studenti è stato interrogato sull'ultimo fenomeno sismico di magnitudo 4,9 su scala Richter, verificatosi nella provincia di Catania nel 2018. Vengono indagati gli effetti sulla percezione del rischio. Il 59% degli intervistati ha chiesto informazioni ai propri genitori, pochissimi si sono confrontati con un docente (3%), sebbene una grossa percentuale di rispondenti (38%) sembra non essere stato colpito dall'evento.

Figura 11| Il 26 Dicembre 2018 un forte terremoto ha colpito l'area etnea di Catania (Viagrande, Pennisi, Fleri, Pisano, Zafferana): che effetto ha avuto sulla tua percezione del rischio sismico? (200 rispondenti/200)



Un' altra carenza di informazione si riscontra nella scarsa conoscenza delle aree di attesa previste dalla Protezione Civile (luoghi di prima accoglienza per la popolazione nell'eventualità di un terremoto). Nella Figura 12, si evidenzia che meno della metà non sa dove si trovano. Per chi ha risposto

positivamente, 77 studenti su 199, 16 indicano come area di attesa Piazzale Sanzio, proprio nei pressi della scuola, 10 Piazza Michelangelo, 9 Piazza Borgo, 7 Largo Bordighera (Figura 13).

Figura 12| Sai dove si trovano le aree di attesa della Protezione Civile in cui recarsi in caso di evento sismico? (199 rispondenti/200)

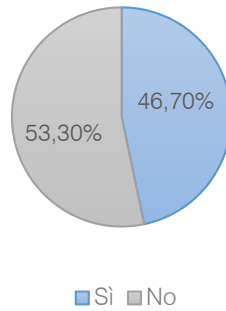
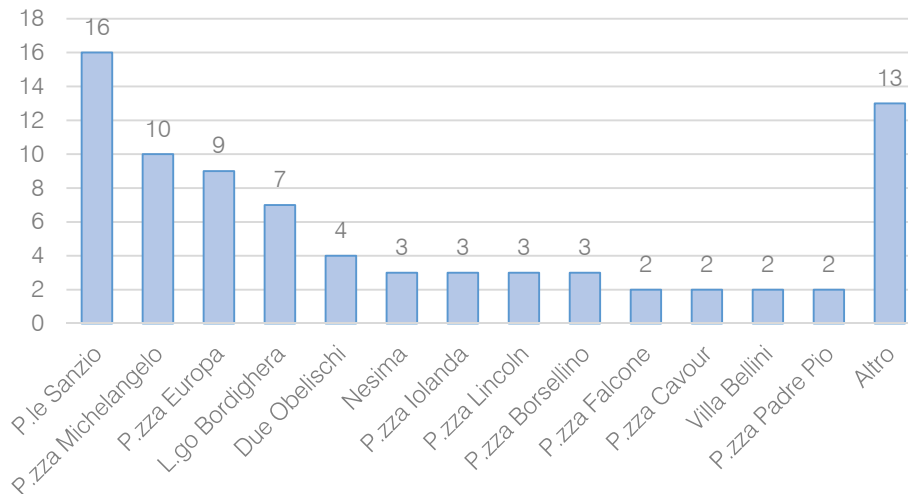


Figura 13| Se sì, mi puoi indicare quella più vicina a casa tua? (77 rispondenti/200)



Altro quesito rivolto agli studenti riguarda il ruolo della scuola nella gestione del rischio sismico, con particolare riferimento alla necessità di informare gli alunni. Una percentuale vicina al 70% delle risposte totali (199) ritiene necessario sviluppare attività per informare meglio gli studenti sul pericolo sismico (Figura 14). Inoltre, il 64% di questi ritiene che l'azione più importante per migliorare l'informazione sia quella di organizzare incontri formativi e informativi con personale specializzato (Figura 15).

Figura 14 | Pensi che la scuola debba realizzare attività per informare meglio gli studenti sul pericolo sismico? (199 rispondenti/200)

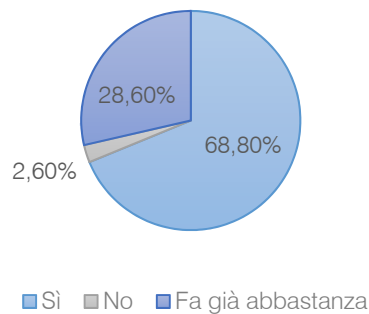
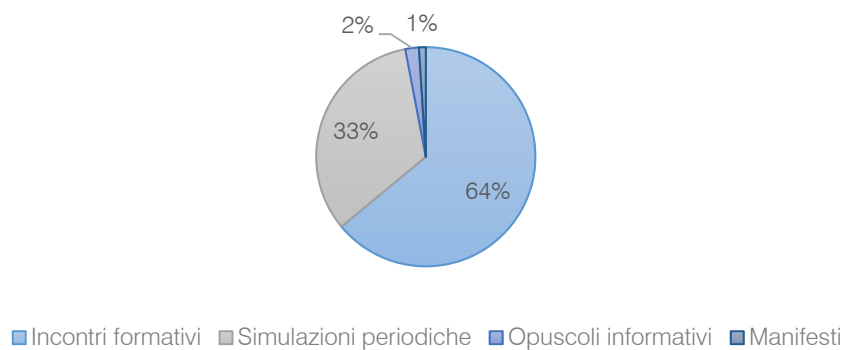


Figura 15 | Se sì, quali sono le azioni più efficaci che si possono fare? (prima scelta)



Conclusioni:

Dall'analisi sintetica dei grafici, emerge che la maggior parte degli studenti selezionati avverta l'esistenza del problema sismico ed è preoccupata della possibilità che questo possa presentarsi nel breve futuro. Infatti più del 90% dei rispondenti avverte l'eventualità di incorrere in eventi sismici di elevata intensità.

Dagli altri grafici analizzati emerge inoltre la carenza di informazione sulle cause dei terremoti e le misure da adottare qualora questi si verificano. I terremoti sono perlopiù interpretati come conseguenza della presenza del Vulcano Etna (Figura 10). Tale interpretazione corrispondente ad una percentuale del 60,5% dei rispondenti consente di ipotizzare un'informazione parziale, che lascerebbe presupporre che le zone più a rischio siano quelle a ridosso del Vulcano. C'è però una richiesta di informazione sul tema del rischio sismico, che oggi sembra provenire perlopiù dai genitori, per coloro i quali si sono documentati e confrontati con essi ed è invece carente dal punto di vista della didattica scolastica. Gli studenti infatti chiedono che la scuola organizzi maggiori incontri di formazione e simulazioni per conoscere e affrontare al meglio il problema di un eventuale evento sismico e potere essere preparati in caso di emergenza.

Indice delle Figure

Capitolo 1

Figura 4.1 Numero di disastri naturali per continente, 2000-2019	13
Figura 1.2 I dieci eventi disastrosi più mortali, 2000-2019	15
Figura 1.3 Popolazione totale dal 1950 al 2020 e proiezione al 2100	17
Figura 1.4 Variazioni nella popolazione globale nelle FUAs, 1975-2050	18
Figura 1.5 Declino del tasso di natalità nei 10 Paesi più popolosi del mondo	19
Figura 1.6 Speranza di vita nei 10 Paesi più popolosi del mondo	20
Figura 1.7 Quota di popolazione giovane (15-24 anni) sul totale della popolazione, nel 2010 a sinistra e nel 2050 a destra	21
Figura 1.8 Classificazione sismica al 2020, Italia	26

Capitolo 2

Figura 2.1 Localizzazione di 81 pericoli di natura tecnologica. I fattori 1 e 2 rappresentano una combinazione lineare di una selezione di 18 caratteristiche qualitative dei pericoli selezionati (Slovic, 1987).	38
---	-----------

Capitolo 3

Figura 3.1 Modello Hazard of place	76
---	-----------

Capitolo 4

Figura 4.1 Matrice prodotto tra la probabilità di accadimento dell'evento pericoloso e le sue conseguenze	97
Figura 4.2 Indicazione di implementazione delle Linee Guida nel processo di Piano (Queensland Reconstruction Authority, Planning for stronger, more resilient foodplains, Part 2, 2011-2012)	98
Figura 4.3 Carta dei Comparti a Vulnerabilità Omogenea. Fonte: estratto dal Regolamento Urbanistico ed Edilizio del Comune di Faenza (2014)	105
Figura 4.4 Carta della distribuzione delle abitazioni con danni medio lievi per un terremoto con tempo di ritorno 475 anni (VII-VIII MCS). Fonte: estratto dal Regolamento Urbanistico ed Edilizio del Comune di Faenza (2014)	107
Figura 4.5 Carta della Struttura urbana minima, quadrante di Nord-ovest. Fonte: PRG-PO. Elaborati gestionali del PRG-PO	112
Figura 4.6 Indirizzi e misure per la SUM di Cerbara. Fonte: PRG-PO. Pianificazione operativa delle trasformazioni. Repertorio delle trasformazioni	114
Figura 4.7 Carta integrata dei rischi e della suscettività alla trasformazione urbanistica. Fonte: Città di Messina, Piano Regolatore Generale, Schema di Massima	120

Capitolo 5

Figura 5.1 Schema dell'approccio analitico-strategico	133
Figura 5.2 Alcune delle topologie che caratterizzano le relazioni tra agenti del modello. Fonte: Macal e North, 2010	136

Figura 5.3 Schema topologico del grafo small world al centro. Fonte: Watts e Strogatz (1998)	138
Figura 5.4 Generico reticolo bidimensionale (a), dove i nodi in rosso sono i nodi attivati dalla dinamica sismica che hanno generato un terremoto di dimensione S. A destra in alto (b) il numero e la dimensione di 2000 terremoti, durante una routine della dinamica OFC in Netlogo e in basso la distribuzione della dimensione del terremoto	139
Figura 5.5 Flowchart del modello OFC di dinamica sismica	140
Figura 5.6 Rappresentazione grafica delle regole della dinamica del modello Olami-Feder -Christensen	142
Figura 5.7 Schema dei nodi attivi e della circonferenza di raggio R, centrata sul nodo, contenente la frazione di edifici che subisce il sisma	144
Figura 5.8 Diagramma di flusso che illustra la sequenza ideale per la costruzione degli indicatori compositi. Fonte: JRC/OECD Handbook	150
Figura 5.9 Flowchart per la definizione dell'indice sintetico di vulnerabilità socio-demografica	151
Figura 5.10 a) Mappa della pericolosità sismica espressa in punti di a_g MPS04; b) Mappa della pericolosità sismica espressa in termini di a_g attraverso la funzione Inverse Distance Weighted	156

Capitolo 6

Figura 6.1 Determinanti della percezione del rischio, adattati da Martin et al. (2009) e Hofer & Hamann, (2016)	162
Figura 6.2 Framework Concettuale che mostra i fattori determinanti del rischio oggettivo e del rischio percepito	163
Figura 6.3 Metodologia generale	164

Capitolo 7

Figura 7.1 L'Area Metropolitana di Catania, con la distinzione dei Comuni di prima corona (comuni contermini a Catania) e dei Comuni di seconda corona	179
Figura 7.2 Reticolo bidimensionale LxH del modello OFC, con connessioni a lungo raggio. Il colore dei nodi nella scala dei grigi è proporzionale al loro stress sismico. I nodi in rosso sono quelli attivati dal terremoto di dimensione S. Sullo sfondo in bianco l'area metropolitana di Catania	182
Figura 7.3 Crescita urbana, con indicazione della datazione di ogni edificio in funzione della sua presenza nelle mappe storiche	183
Figura 7.4 L'Area Metropolitana di Catania in blu nel contesto geo-tettonico della Sicilia Orientale, con l'individuazione del Vulcano Etna a nord, e l'avanfossa Catania-Gela a sud (a). Sistema di faglie variamente orientate conosciute come il Timpe Fault System: il sistema composto da 20 segmenti di faglia responsabili di terremoti molto superficiali, ma distruttivi (b)	185
Figura 7.5 (a) Mappa delle pendenze in funzione continua (Grid) in scala di colore da nero, che esprime la pendenza minore, a bianco che esprime la pendenza maggiore. (b) Mappa della distribuzione della PGA in funzione	187

continua (Grid) nella scala di colore da blu, che esprime le aree di ag più bassi a rosso, che esprime le aree di ag più alti	
Figura 7.6 Scenario sismico simulato simile a quello verificatosi a L'Aquila nel 2009	188
Figura 7.7 MES-LI. Scenario di bassa intensità sismica. a) Numero di edifici danneggiati e distrutti come funzione dei 1000 eventi sismici. b) Sequenza sismica	190
Figura 7.8 MES-LI. Mappa dei danni per lo scenario di bassa intensità sismica, in assenza di terremoti di magnitudo compresa tra 5 e 6. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta	191
Figura 7.9 MES-MI. Scenario sismico di media intensità. a) Numero di edifici danneggiati e distrutti come funzione dei 1000 eventi sismici. b) Sequenza sismica	192
Figura 7.10 MES-MI. Mappa dei danni per lo scenario di media intensità sismica, con un terremoto di magnitudo compresa tra 5 e 6. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta	193
Figura 7.11 MES-HI. Scenario sismico di alta intensità. a) Numero di edifici danneggiati e distrutti come funzione dei 1000 eventi sismici. b) Sequenza sismica	194
Figure 7.12 MES-HI. Mappa dei danni per lo scenario di media intensità sismica, con un terremoto di magnitudo compresa tra 5 e 6. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta	195
Figura 7.13 Ubicazione degli edifici 'leggermente danneggiati' (in verde), 'gravemente danneggiati' (in giallo) e 'distrutti' (in rosso) nella città di Catania. (a) scenario sismico di bassa intensità; (b) scenario sismico di media intensità; (c) scenario sismico di elevata intensità	196
Figura 7.14 SES-M1. Mappa dei danni per un terremoto singolo di magnitudo 5,63. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta	199
Figura 7.15 SES-M2. Mappa dei danni per un terremoto singolo di magnitudo 6,00. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta	200

Figura 7.16 SES-M3. Mappa dei danni per un terremoto singolo di magnitudo 6,50. L'intensità dei colori nelle diverse aree della mappa è proporzionale al rapporto della somma degli edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' presenti in un comune e il numero totale di edifici, espressa in percentuale. I valori per ogni comune sono indicati accanto alla relativa etichetta	201
Figura 7.17 Scenari sismici multipli: (a) Low Intensity; (b) Medium Intensity; (c) High Intensity. Scenari sismici singoli: (d) Magnitudo 5.63; (e) Magnitudo 6.00; (f) Magnitudo 6.50. Per ognuno dei sei scenari sono riportati i dettagli delle percentuali di edifici 'gravemente danneggiati' e 'distrutti' per tutti i comuni dell'Area Metropolitana di Catania	202
Figura 7.18 Distribuzione spaziale nell'Area Metropolitana di Catania, AMC25, dei due sottoinsiemi dell'indice di vulnerabilità socio-demografica V_{sd} . a) Indicatore demografico e nuclei familiari, I_d ; b) Indicatore del titolo di studi e partecipazione al mercato del lavoro, I_{to}	211
Figura 7.19 Distribuzione spaziale della Vulnerabilità socio-demografica, V_{sd} per quantili	213
Figura 7.20 Mappa sismica del Rischio socio-demografico Rsd (Quartili)	215
Figura 7.21 Classificazione dei comuni dell'AMC25 in funzione della percentuale crescente di sezioni nel range alto della classificazione di Rsd per comune	216
Figura 7.22 Confronto tra Rischio socio-demografico e Rischio fisico	217

Capitolo 8

Figura 8.1 a) Individuazione geografica dell'Area Metropolitana di Catania b) Perimetro dell'Area Metropolitana di Catania e c) Localizzazione dei quartieri di Catania e possibile applicazione della metodologia adottata	225
Figura 8.2 Area di studio: a) Immagine satellitare dell'area di studio; b) Individuazione dei 164 edifici oggetto di indagine; c) Vista tridimensionale dell'area di indagine	226
Figura 8.3 Caratteristiche demografiche della popolazione: a) Numero di abitanti per unità edilizia; b) Popolazione di età superiore ai 64 anni per edificio; c) Popolazione al di sotto dei 15 anni per edificio; d) Indice di vecchiaia, rapporto tra la popolazione over 64 e la popolazione under 15 per edifici	230
Figura 8.4 Caratteristiche dei nuclei familiari: a) Numero di famiglie per unità edilizia; b) Famiglie monocomponente (H1/Pop) per unità edilizia; c) Famiglie bicomponenti (H2/Pop) per unità edilizia; d) Famiglie monocomponente con componente di età superiore ai 74 anni (H174+/Pop) per unità edilizia	231
Figura 8.5 Caratteristiche degli edifici: a) Volume residenziale per unità edilizia; b) Numero di abitanti per appartamento (analisi sviluppata per sezione di censimento); c) Numero di piani per edificio; d) Data di costruzione degli edifici	232
Figura 8.6 Categorie tipologico-strutturali delle 164 unità edilizie presenti nell'area indagata: a) Schema planimetrico delle 17 categorie tipologico-strutturali individuate; b) Legenda	235

Figura 8.7 Spazializzazione di: a) Rischio oggettivo e b) Rischio percepito dell'area indagata	236
Figura 8.8 Diagramma di correlazione tra gli Indici di conoscenza ed esperienza del rischio e propensione al cambiamento	243
Figura 8.9 Distribuzione spaziale dei due indicatori e attribuzione agli edifici dell'area indagata: a) Conoscenza ed esperienza del rischio; b) Propensione al cambiamento	244
Figura 8.10 Risk comparison	246
Figura 8.11 Seismic policy prevention index, SPPi in relazione ai livelli di Rischio oggettivo decrescente	251
Figura 8.12 Distribuzione spaziale del SPPi, Seismic Policy Prevention Index	252
Figura 8.13 Mappa del SPPi nel conteso urbano di Catania, con indicazione dei tre livelli di rischio, A-B-C	253

abstract

L'Italia ha da millenni i caratteri sismici attuali, espressione della sua complessa storia geodinamica e della vita stessa della Terra. La pericolosità sismica di un territorio è per definizione 'stazionaria', ovvero non varia molto attraverso le migliaia o decine di migliaia di anni: è il rischio sismico – che deriva dalla convoluzione di quella pericolosità con la quantità e il valore di ciò che è esposto sul territorio e con la sua vulnerabilità – a cambiare attraverso le epoche.

La crescita demografica continua a gravare in maniera pressante sulle aree urbane più attrattive, facendo emergere con sempre maggiore chiarezza la quantità e qualità degli oggetti esposti ai rischi ambientali. Inoltre le trasformazioni socio-demografiche ed economiche, cominciate già alla fine degli anni Settanta, hanno modificato la struttura sociale con conseguenze che si ripercuotono sull'esposizione delle diverse categorie sociali ai rischi naturali.

Questa ricerca esplora il rischio sismico con una visione analitica che abbraccia la componente fisica della vulnerabilità del patrimonio edilizio urbano e la componente della vulnerabilità socio-demografica intesi come drivers di amplificazione dei disastri, ponendosi come obiettivo la definizione di una metodologia che, a differenti livelli di analisi, miri a orientare politiche di uso del suolo compatibili coi diversi livelli di rischio fisico e rischio sociale.

Se il rischio sismico è per definizione un fenomeno di carattere sociale oltre che fisico la ricerca mira a individuare strategie che contemplino gli aspetti 'oggettivi' e gli aspetti 'percettivi' del rischio, attraverso la convergenza delle due strategie. Questo impone degli effetti sulla pianificazione urbana attraverso l'adozione di policy che gli attori locali possono vagliare per introdurre i meccanismi percettivi tra gli strumenti informativi del Piano.

english abstract

Italy has had current seismic characteristics for millennia, expressing its complex geodynamic history. The seismic hazard of a territory is by definition 'stationary', i.e. it does not vary much through thousands or tens of thousands of years: it is the seismic risk - which derives from the convolution of that hazard with the quantity and value of what is exposed on the territory and with its vulnerability - to change through the ages.

Population growth continues to weigh heavily on the most attractive urban areas, bringing out the quantity and quality of objects exposed to environmental risks with ever greater clarity. In addition, the socio-demographic and economic transformations, which began as early as the late seventies, have changed the social structure with consequences that affect the exposure of different social categories to natural hazards.

This research explores the seismic risk with an analytical vision that embraces the physical component of the vulnerability of the urban building heritage and the element of socio-demographic vulnerability intended as drivers for the amplification of disasters, with the aim of defining a methodology that, at different levels of analysis, aimed at orienting land-use policies compatible with the different levels of physical risk and social risk.

Since earthquake risk is by definition a social as well as a physical phenomenon, the research aims to identify strategies that contemplate the 'objective' and 'perceptual' aspects of risk through the convergence of the two strategies. This imposes effects on urban planning through the adoption of policies that local actors can screen for introducing perceptual mechanisms among the Plan's information tools.